



**Francisco José
Figueiredo Gonçalves**

**Análise do desempenho energético de edifícios
recorrendo a ferramentas computacionais de
simulação dinâmica**



**Francisco José
Figueiredo Gonçalves**

**Análise do desempenho energético de edifícios
recorrendo a ferramentas computacionais de
simulação dinâmica**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins, professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Professor Doutor Fernando José Neto da Silva

professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

arguente

Professor Doutor Romeu da Silva Vicente

professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

orientador

Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins

professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

agradecimentos

A realização do presente documento marca uma importante fase da minha vida académica e pessoal, pelo que deixo os meus agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta para a sua concretização.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao orientador da universidade, Professor Doutor Nelson Martins pelo apoio, disponibilidade prestada e conhecimentos transmitidos.

Quero deixar um agradecimento especial à direção do ITeCons, nomeadamente ao Professor Doutor António Tadeu, ao Professor Doutor Nuno Simões, e à Professora Doutora Julieta António, pela oportunidade de realizar a dissertação no ITeCons. Ao meu orientador Eng.º Vítor Gil, pela colaboração, disponibilidade, conhecimento e oportunidades concedidas dentro do ITeCons. Ao Mestre Pedro Correia pela extensa paciência, compreensão demonstrada, pelo companheirismo, apoio e transmissão de conhecimento. A todos os colaboradores do ITeCons pelo acolhimento, partilha de informação e transmissão de conhecimento, com especial agradecimento ao Eng.º Nilton Oliveira, à Eng.ª Liliana Santos e à Eng.ª Rita Januário.

Quero deixar um especial agradecimento a todos os colegas de curso, que estiveram sempre presentes na minha vida académica, pela paciência, incentivo, motivação e grande apoio prestado em todo o meu percurso académico. Um especial obrigado à Fani Sousa por toda a paciência, acompanhamento, por cada palavra de apoio nas fases mais difíceis e por tornar esta etapa da minha vida mais simples.

Por último, mas não menos importante, gostaria de deixar um grande obrigado aos meus pais e irmãos pelo carinho, apoio, motivação, amor e pela possibilidade da realização de uma formação académica.

palavras-chave

Sistema de certificação energética de edifícios; grande edifício de comércio e serviços; simulação dinâmica de edifícios; reabilitação energética.

resumo

O Parlamento Europeu tem apresentado aos seus parceiros pacotes de medidas, com objetivos alcançáveis para a redução das emissões de dióxido de carbono, para o aumento da utilização de energia proveniente de fontes renováveis e para a redução do consumo de energia, promovendo a eficiência energética na UE. Esta necessidade de eficiência energética nos edifícios deve-se ao consumo intensivo dos recursos energéticos que, por um lado, acentuam os problemas ambientais.

O trabalho desenvolvido vem de encontro a esta temática, com o objetivo de adquirir e aplicar a metodologia de cálculo e avaliação do desempenho energético de um grande edifício de comércio e serviços segundo o Decreto-Lei n.º 251/2015 de 25 de novembro. A avaliação do desempenho energético e da análise de medidas de racionalização energética foi suportada pela utilização de uma ferramenta de simulação dinâmica de edifícios, o *DesignBuilder®*, tendo-se desenvolvido, validado e usado um modelo energético simplificado do edifício em estudo. Esta ferramenta computacional permite uma análise mais intuitiva e detalhada da avaliação do desempenho energético de edifícios.

Esta dissertação apresenta um guia estruturado da metodologia de análise do desempenho energético de um grande edifício de comércio e serviços, assim como a aplicação prática a um caso de estudo. Esta metodologia permitiu perceber as etapas inerentes à avaliação energética de edifícios de serviços, assim como, toda a complexidade no desenvolvimento de um modelo de simulação dinâmica que representasse energeticamente um edifício. Os resultados obtidos prendem-se com a avaliação técnico-económica dos vários cenários de reabilitação energética desenvolvidos com o intuito de melhorar o desempenho energético do edifício em estudo.

keywords

Energy certification system for buildings; big building of trade and service; dynamic simulation of buildings; energy rehabilitation

abstract

The European Parliament has presented packages of measures to its partners with achievable targets such as, to reduce carbon dioxide emissions, to increase the use of energy from renewable sources and to reduce energy consumption, promoting energy efficiency in the EU. This need for energy efficiency in buildings is due to the intensive use of energy resources, which highlights environmental problems.

The developed work comes upon this issue, with the goal of acquiring and applying the methodology used to calculate the energy performance of a big building of trade and service according to the decree-law no. 251/2015 of 25th November. The evaluation of the energy performance and the analysis of energy rationalization measurements were supported by the use of a building dynamic simulation program, DesignBuilder™, where it was developed, validated and used a simplified energy model of the building in study. This computational tool allows a more intuitive and detailed analysis of the evaluation of the energy performance of buildings.

This thesis presents a structured guide of the analysis methodology of energy performance of a big building of trade and service, as well as a practical application of a case study. This methodology allowed to understand the inherent steps of energy evaluation of service buildings, as well as the complexity in the development of a dynamic simulation model that would represent energetically a building. The results are related with the technical and economic assessment of various energy rehabilitation developed scenarios, in order to improve the energy performance of the building under study.

ÍNDICE

Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	ix
Nomenclatura	xv
1 Introdução.....	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Entidade Acolhedora – ITeCons	7
1.3 Objetivos da Dissertação	9
1.4 Organização do Documento	9
2 Revisão Bibliográfica	11
2.1 Legislação Aplicável	11
2.2 Metodologias Aplicáveis	17
3 Metodologia Adotada	27
3.1 Síntese Metodológica	27
3.2 Implantação e Dados Climáticos.....	28
3.3 Levantamento Dimensional e Parâmetros Térmicos.....	28
3.4 Auditoria Energética	32
3.5 Calibração do Modelo de Simulação Dinâmica.....	32
3.6 Definição do Edifício de Referência	33
3.7 Determinação da Classe Energética do Edifício	38
3.8 Análise de Medidas de Racionalização Energética.....	39
4 Análise Energética Apoiada por Simulação Dinâmica de Edifícios.....	43
4.1 Caracterização do Edifício em Análise.....	43
4.2 Caracterização do Edifício de Referência	65

4.3	Consumo Energético e Diagramas de Carga Obtidos no Âmbito da Auditoria	68
4.4	Modelação Dinâmica.....	76
4.5	Determinação da Classe Energética do Edifício.....	81
5	Análise de Medidas de Racionalização Energética	83
5.1	Análise Independente das Medidas de Racionalização de Energia.....	84
5.2	Definição de Cenários de Reabilitação Energética	98
5.3	Análise Comparativa entre Cenários de Reabilitação Energética	109
5.4	Indicadores de Desempenho Energético e Económico	113
5.5	Classe Energética do Edifício após Cenário de Reabilitação Energética Proposto	115
6	Conclusões	117
6.1	Principais Conclusões da Dissertação	117
6.2	Propostas de Trabalhos Futuros	119
	Referências Bibliográficas	121
	Apêndice I – Levantamento Dimensional	125
	Apêndice II – Marcação da Envolvente	141
	Apêndice III – Apresentação Detalhada das Soluções Construtivas.....	155
	Soluções Construtivas da Envolvente Opaca.....	155
	Soluções Construtivas da Envolvente Envidraçada	163
	Apêndice IV – Sistema de Iluminação	173
	Apêndice V – Equipamentos Instalados	189
	Apêndice VI – Sistemas de AVAC e Caudais Mínimos de Ar Novo	201
	Apêndice VII – Densidade de Ocupação	211
	Apêndice VIII – Zonamento Térmico	215
	Apêndice IX – Dados da Auditoria Energética	221
	Apêndice X – Resultados dos Consumos Energéticos	231

Apêndice XI – Especificações de Apoio.....	241
Apêndice XII – Estimativa Orçamental.....	243

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da Dependência Energética de Portugal de 1995 a 2014 [6].	4
Figura 2 – Distribuição do consumo total de energia primária em 2014 pelos tipo de fonte de energia [6].	4
Figura 3 – Distribuição do consumo total de energia primária renovável em 2014 [6].	6
Figura 4 – Distribuição do consumo total de energia final em 2014, por setor de atividade [6].	7
Figura 5 – Instalações do ITeCons.	8
Figura 6 – Ficheiro Climático obtido mediante ferramenta do LNEG [32].	44
Figura 7 – Visão aérea e orientação geográfica do Complexo Escolar, imagem real (à esquerda, adaptado [38]) e imagem do modelo de simulação (à direita).	45
Figura 8 – Representação da incorporação do ficheiro climático no <i>DesignBuilder</i> ®.	45
Figura 9 – Representação da incorporação dos vãos envidraçados, dos dispositivos de sombreamento e da limitação de radiação solar no <i>DesignBuilder</i> ®.	48
Figura 10 – Exemplo do desenvolvimento de uma solução construtiva no <i>DesignBuilder</i> ®.	51
Figura 11 – Aplicação no <i>DesignBuilder</i> ® da densidade de potência de iluminação para a Portaria 1.	55
Figura 12 – Aplicação no <i>DesignBuilder</i> ® da densidade de potência dos equipamentos para a Portaria 1.	55
Figura 13 – Caldeiras de gás propano (esquerda), e suas características técnicas (direita).	56
Figura 14 – Sistema de bombagem de água (esquerda), radiadores murais (direita).	57
Figura 15 – Aquecedor elétrico a óleo (esquerda), Termo ventilador (direita).	57
Figura 16 – Unidade de ar condicionado, unidade interior do lado esquerdo e unidade exterior do lado direito.	58
Figura 17 – Cilindro elétrico de 50 litros de capacidade do Bar do Bloco A.	58

Figura 18 – Esquentador de gás propano para preparação de AQS da cozinha do Bloco D.	59
Figura 19 – Caldeiras a gás propano (à esquerda), e termoacumulador de água (à direita).	59
Figura 20 – Ventiladores murais instalados nas janelas de duas salas do Bloco C.	60
Figura 21 – Introdução dos parâmetros, no <i>DesignBuilder</i> [®] , da Climatização e Ventilação para a Portaria 1, no modelo de referência.....	61
Figura 22 – Desenvolvimento, no <i>DesignBuilder</i> [®] , do perfil de utilização para o aquecimento central.	63
Figura 23 – Caracterização do zonamento térmico do Piso 0 do Bloco A no <i>DesignBuilder</i> [®]	64
Figura 24 – Caracterização do zonamento térmico do Piso 1 do Bloco A no <i>DesignBuilder</i> [®]	64
Figura 25 – Evolução do consumo elétrico de energia ativa nos últimos 3 anos do Complexo Escolar.	69
Figura 26 – Consumo de gás propano do Complexo Escolar nos últimos 3 anos.....	70
Figura 27 – Analisadores de redes de distribuição de energia utilizados no âmbito da auditoria, o sistema <i>Lem-Wireless</i> (à esquerda) e <i>Chauvin Arnoux</i> (à direita).	71
Figura 28 – Repartição dos consumos elétricos da auditoria energética desenvolvida ao Complexo Escolar.	72
Figura 29 – Repartição dos consumos elétricos desagregados por blocos do Complexo Escolar.	73
Figura 30 – Repartição dos consumos energéticos pelos diferentes sistemas.	75
Figura 31 – Fotorrealismo do modelo de simulação dinâmica do Complexo Escolar.....	76
Figura 32 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico do Piso 0 do Bloco A.	130
Figura 33 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico do Piso 1 do Bloco A.	131
Figura 34 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico do Piso 0 do Bloco C.	132

Figura 35 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico do Piso 1 do Bloco C.	133
Figura 36 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico do Piso 0 do Bloco D (refeitório).	134
Figura 37 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico do Piso 0 do Pavilhão.	135
Figura 38 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico do Piso 1 do Pavilhão.	136
Figura 39 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico da Portaria 1.	137
Figura 40 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico da Portaria 2.	138
Figura 41 – Marcação da envolvente ao nível do pavimento do piso 0 do Bloco A.	142
Figura 42 – Marcação da envolvente ao nível do pavimento do piso 1 do Bloco A.	143
Figura 43 – Marcação da envolvente ao nível da cobertura do piso 0 do Bloco A.....	144
Figura 44 – Marcação da envolvente ao nível da cobertura do piso 1 do Bloco A.....	145
Figura 45 – Marcação da envolvente do piso 0 do Bloco C.....	146
Figura 46 – Marcação da envolvente do piso 1 do Bloco C.....	147
Figura 47 – Marcação da envolvente ao nível do pavimento do piso 0 do Bloco D (refeitório).	148
Figura 48 – Marcação da envolvente ao nível da cobertura do piso 0 do Bloco D (refeitório).	149
Figura 49 – Marcação da envolvente do piso 0 do Pavilhão.	150
Figura 50 – Marcação da envolvente do piso 1 do Pavilhão.	151
Figura 51 – Marcação da envolvente da Portaria 1.....	152
Figura 52 – Marcação da envolvente da Portaria 2.....	153
Figura 53 – Desenho 2D do zonamento térmico do Bloco A.....	216
Figura 54 – Desenho 2D do zonamento térmico do Bloco C.....	217
Figura 55 – Desenho 2D do zonamento térmico do Bloco D (refeitório).....	218
Figura 56 – Desenho 2D do zonamento térmico do Pavilhão.....	219

Figura 57 – Desenho 2D do zonamento térmico das Portarias 1 e 2.....	220
Figura 58 – Diagrama dos consumos elétricos monitorizados na auditoria energética. .	223
Figura 59 – Diagrama do consumo elétrico monitorizado do QGBT, aquando da auditoria energética.	224
Figura 60 – Diagrama do consumo elétrico monitorizado do Bloco C, aquando da auditoria energética.	225
Figura 61 – Diagrama do consumo elétrico monitorizado do elevador do Bloco C, aquando da auditoria energética.	226
Figura 62 – Diagrama do consumo elétrico monitorizado do Bloco D, aquando da auditoria energética.	227
Figura 63 – Diagrama do consumo elétrico monitorizado da central térmica do Bloco D, aquando da auditoria energética.	228

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Legislação aplicável atualmente [9].....	12
Tabela 2 – Fatores de conversão na determinação das emissões de CO ₂ (adaptado [14]).	14
Tabela 3 – Caracterização dos consumos do Tipo S e T (adaptado de [16]).	14
Tabela 4 – Coeficientes de transmissão térmica de referência de elementos da envolvente no âmbito do RECS [W/(m ² .°C)] (adaptado de [13]).....	34
Tabela 5 – Fator solar dos vãos envidraçados de referência no âmbito do RECS (adaptado de [13]).	34
Tabela 6 – Valores de referência da densidade de potência de iluminação (DPI) (adaptado de [13]).	37
Tabela 7 – Intervalos de valores do R _{IEE} para a determinação da classe energética (adaptado de [13]) [35].....	38
Tabela 8 – Valores dos parâmetros térmicos das soluções da envolvente exterior opaca.	47
Tabela 9 – Valores dos parâmetros que caracterizam a envolvente envidraçada.	49
Tabela 10 – Valores de densidade de potência de iluminação e dos equipamentos correspondente a cada zona térmica.	53
Tabela 11 – Densidade de potência de iluminação de referência por zona térmica.	66
Tabela 12 – Repartição dos consumos elétricos desagregado pelos vários consumidores do Complexo Escolar.....	74
Tabela 13 – Resultado dos consumos energéticos dos sistemas para o modelo real.	77
Tabela 14 – Resultado dos consumos energéticos dos sistemas para o modelo previsto.	78
Tabela 15 – Resultado dos consumos energéticos dos sistemas para o modelo de referência.....	79
Tabela 16 – Resumo dos consumos energéticos dos modelos de simulação.	80

Tabela 17 – Determinação dos Indicadores de Eficiência Energética.....	81
Tabela 18 – Determinação da classe energética do Complexo Escolar.	82
Tabela 19 – Determinação do IEE e das emissões globais de CO ₂ do Complexo Escolar.	82
Tabela 20 – Parâmetros das soluções construtivas aplicados no modelo de simulação para a primeira medida de melhoria.	85
Tabela 21 – Resultados das variações dos consumos energéticos com a aplicação da primeira medida de melhoria.	85
Tabela 22 – Indicadores económicos da primeira medida de racionalização energética.	86
Tabela 23 – Apresentação do mapa de quantidades e a designação das lâmpadas sugeridas na segunda medida de melhoria.	87
Tabela 24 – Parâmetros do sistema de iluminação aplicados no modelo de simulação para a segunda medida de melhoria.	88
Tabela 25 – Resultados das variações dos consumos energéticos com a aplicação da segunda medida de melhoria.	90
Tabela 26 – Indicadores económicos da segunda medida de racionalização energética.	91
Tabela 27 – Cálculo da produção de energia térmica o sistema solar térmico.	92
Tabela 28 – Resultados das variações dos consumos energéticos com a aplicação da terceira medida de melhoria.	93
Tabela 29 – Indicadores económicos da terceira medida de racionalização energética.	93
Tabela 30 – Cálculo da produção de energia elétrica do sistema fotovoltaico.	94
Tabela 31 – Indicadores económicos da quarta medida de racionalização energética.	95
Tabela 32 – Cálculo da contribuição de energia renovável.....	96
Tabela 33 – Resultados das variações dos consumos energéticos com a aplicação da quinta medida de melhoria.	96
Tabela 34 – Indicadores económicos da quinta medida de racionalização energética.	97
Tabela 35 – Resumo da variação dos consumos energéticos com a aplicação de medidas de racionalização de energia.....	99
Tabela 36 – Resultados do desempenho energético do primeiro cenário.....	101

Tabela 37 – Indicadores económicos do primeiro cenário de reabilitação energética. ...	101
Tabela 38 – Resultados do desempenho energético do segundo cenário.	102
Tabela 39 – Indicadores económicos do segundo cenário de reabilitação energética. ..	103
Tabela 40 – Resultados do desempenho energético do terceiro cenário.	104
Tabela 41 – Indicadores económicos do terceiro cenário de reabilitação energética.	104
Tabela 42 – Resultados do desempenho energético do quarto cenário.	106
Tabela 43 – Indicadores económicos do quarto cenário de reabilitação energética.	106
Tabela 44 – Resultados do desempenho energético do quinto cenário.	108
Tabela 45 – Indicadores económicos do quinto cenário de reabilitação energética.	109
Tabela 46 – Resumo da variação dos consumos energéticos com a aplicação dos cenários de reabilitação energética.	110
Tabela 47 – Resultados do desempenho energético do sexto cenário.	112
Tabela 48 – Indicadores económicos do sexto cenário de reabilitação energética.	112
Tabela 49 – Resumos dos indicadores de desempenho energético e económico dos cenários de reabilitação energética.	113
Tabela 50 – Levantamento dimensional dos espaços do Bloco A.	125
Tabela 51 – Levantamento dimensional dos espaços do Bloco C.	126
Tabela 52 – Levantamento dimensional dos espaços do Bloco D.	127
Tabela 53 – Levantamento dimensional dos espaços do Pavilhão.	128
Tabela 54 – Levantamento dimensional dos espaços das Portarias.	129
Tabela 55 – Valores do ajuste realizado para o levantamento dimensional do modelo de simulação.	139
Tabela 56 – Levantamento do sistema de iluminação do Bloco A.	174
Tabela 57 – Levantamento do sistema de iluminação para o Bloco C.	177
Tabela 58 – Levantamento do sistema de iluminação para o Bloco D.	180
Tabela 59 – Levantamento do sistema de iluminação para o Pavilhão.	181
Tabela 60 – Levantamento do sistema de iluminação para as Portarias 1 e 2.	183
Tabela 61 – Levantamento do sistema de iluminação para a iluminação exterior.	183

Tabela 62 – Parâmetros necessários ao cálculo da densidade de potência de iluminação de referência.	184
Tabela 63 – Levantamento dos equipamentos do Bloco A.	190
Tabela 64 – Levantamento dos equipamentos do Bloco C.	194
Tabela 65 – Levantamento dos equipamentos do Bloco D.	198
Tabela 66 – Levantamento dos equipamentos do Pavilhão.	199
Tabela 67 – Levantamento dos equipamentos da Portaria 1.	199
Tabela 68 – Características técnicas da unidade de ar condicionado do Bloco A.	201
Tabela 69 – Características técnicas do cilindro elétrico do bar do Bloco A.	201
Tabela 70 – Características técnicas das caldeiras a gás propano do Bloco D.	202
Tabela 71 – Características técnicas do sistema de bombagem do aquecimento central.	202
Tabela 72 – Características técnicas do esquentador de gás propano do Bloco D.	202
Tabela 73 – Características técnicas das caldeiras de preparação de AQS do Pavilhão.	203
Tabela 74 – Características técnicas do termoacumulador de água do Pavilhão.	203
Tabela 75 – Caudais mínimos de ar novo obtidos pela folha de cálculo, o Qventila, para os vários modelos de simulação [43].	203
Tabela 76 – Parâmetros introduzidos nos modelos de simulação para a climatização e ventilação, por zona térmica.	207
Tabela 77 – Número e densidade de ocupação do Bloco A.	211
Tabela 78 – Número e densidade de ocupação do Bloco C.	212
Tabela 79 – Número e densidade de ocupação do Bloco D.	212
Tabela 80 – Número e densidade de ocupação do Pavilhão.	212
Tabela 81 – Número e densidade de ocupação da Portaria 1 e 2.	213
Tabela 82 – Consumos faturados de energia elétrica ativa do Complexo Escolar.	221
Tabela 83 – Consumos faturados de gás propano do Complexo Escolar.	222

Tabela 84 – Repartição dos consumos elétricos monitorizados no período da auditoria.	229
Tabela 85 – Parâmetros para a determinação da energia necessária para a produção de AQS.....	231
Tabela 86 – Parâmetros para a determinação da energia necessária para a produção de AQS do modelo de referência.....	231
Tabela 87 – Parâmetros para o cálculo da estimativa do consumo anual das bombas circuladoras do modelo real.....	232
Tabela 88 – Parâmetros para o cálculo da estimativa do consumo anual das bombas circuladoras do modelo previsto.....	232
Tabela 89 – Parâmetros para o cálculo da estimativa do consumo anual das bombas circuladoras do modelo de referência.	232
Tabela 90 – Resultados dos consumos energéticos simulados do modelo real [kWh/ano].	234
Tabela 91 – Resultados dos consumos energéticos simulados do modelo previsto [kWh/ano].	236
Tabela 92 – Resultados dos consumos energéticos simulados do modelo de referência [kWh/ano].	238
Tabela 93 – Apresentação das diferenças entre o módulo fotovoltaico utilizado no estudo técnico e o utilizado na análise económica.	241
Tabela 94 – Parâmetros para o cálculo da estimativa do consumo anual das bombas circuladoras das medidas de melhoria.....	241
Tabela 95 – Parâmetros para o cálculo da estimativa do consumo anual das bombas circuladoras dos cenários de reabilitação energética.....	242
Tabela 96 – Estimativa orçamental do reforço térmico da envolvente opaca.	243
Tabela 97 – Estimativa orçamental para o sistema de iluminação.	244
Tabela 98 – Estimativa orçamental para a implementação do sistema solar térmico.	245
Tabela 99 – Estimativa orçamental para a implementação do sistema solar fotovoltaico.	246

NOMENCLATURA

ADENE	Agência para a energia
AQS	Águas Quentes Sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CE	Certificado energético
CF	Fluxo de caixa ou, em inglês <i>Cash Flow</i> [€]
CO ₂	Dióxido de Carbono
COP	Coeficiente de desempenho ou, em inglês <i>Coefficient of Performance</i>
CQNUAC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas
DPI	Densidade de Potência de Iluminação
EER	Relação de eficiência energética ou, em inglês <i>Energy Efficiency Ratio</i>
EPBD	Diretiva do desempenho energético dos edifícios ou, em inglês <i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
EPW	Ficheiro climático do <i>EnergyPlus</i> ® ou, em inglês <i>EnergyPlus Weather File</i>
E _{Ren}	Contribuição energética de sistemas de aproveitamento de energia renovável [kWh/ano]
FER	Fontes de Energia Renovável
GEE	Gases de Efeito de Estufa
GES	Grande Edifício de Comércio e Serviços
g _T	fator solar global
IEE	Indicador de Eficiência Energética [kWh _{EP} /(m ² .ano)]
IEE _{pr}	Indicador de Eficiência Energética previsto [kWh _{EP} /(m ² .ano)]
IEE _{Ref}	Indicador de Eficiência Energética referência [kWh _{EP} /(m ² .ano)]
IPC	Índice de produtibilidade eólica
IPH	Índice de produtibilidade hídrica
ITeCons	Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade
LED	Díodo emissor de luz ou, em inglês <i>Light Emitting Diode</i>
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia

η	Rendimento
P&R	Perguntas e Respostas
PES	Pequeno Edifício de Comércio e Serviços
PESsC	Pequeno Edifício de Serviços sem Climatização
PRC	Período de Retorno de Capital [anos]
PRE	Plano de Racionalização Energética
PRS	Período de Retorno Simples [anos]
PTL	Pontes Térmicas Lineares
PTP	Pontes Térmicas Planas
QAI	Qualidade do Ar Interior
RECS	Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços
REH	Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação
R_{IEE}	Rácio de classe energética
SCE	Sistema de certificação energética de edifícios
SCE.ER	Ferramenta de cálculo para determinação do E_{Ren}
SCOP	Coeficiente de desempenho sazonal ou, em inglês <i>Seasonal Coefficient of Performance</i>
SEER	Relação de eficiência energética sazonal ou, em inglês <i>Seasonal Energy Efficiency Ratio</i>
SST	Sistema Solar Térmico
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade [%]
U	Coeficiente de transmissão térmica [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]
VAL	Valor Atualizado Líquido [€]
α	Coeficiente de absorção da radiação solar

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As alterações climáticas no planeta Terra vieram mudar o padrão do consumo de energia proveniente de recursos fósseis. A partir da Revolução Industrial, no final do século XVIII e início do século XIX, os hábitos sociais transmutaram-se radicalmente com a substituição da mão-de-obra humana pela máquina a vapor. Assim, o consumo de carvão disparou e, conseqüentemente, ocorreu um acréscimo de emissões de gases de efeito de estufa (GEE), entre eles, o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O). Em meados do século XIX, iniciou-se uma nova fase, onde a criação de processos de refinamento de petróleo extraído do carvão provocou um aumento exponencial do consumo deste recurso fóssil. No final do século XX, em 1992, a CQNUAC (Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas) é assinada devido à necessidade de mudança de paradigma, onde o ambiente se torna o protagonista, e a mudança dos hábitos de consumo energético e da redução dos GEE passariam a desempenhar um papel de extrema importância. Mais tarde, em 1997, “na Terceira Conferência das Partes” foi adotado o Protocolo de Quioto que veio definir a meta da redução dos principais GEE em pelo menos 5% dos valores registados em 1990, no período de 2008 a 2012. Assim, no quadro da União Europeia e das obrigações decorrentes do Protocolo de Quioto, Portugal devia limitar o aumento das suas emissões, de 27% em relação a 1990 [1].

Em Portugal, já se davam alguns passos antes dos acontecimentos de Quioto, onde o Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de fevereiro elegia como parâmetros básicos dois valores de necessidades de climatização, de modo a ser criado um padrão de qualidade térmica para os edifícios [2]. Posteriormente, os países tiveram a necessidade de colaborar entre si em prol da mitigação do aquecimento global no planeta Terra, onde de modo a dar resposta ao Protocolo de Quioto, a 4 de janeiro de 2003 entra em vigor na União Europeia a Diretiva n.º 2002/91/CE, também designada por EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*). Assim, os Estados-Membros ficavam obrigados a pôr em vigor as disposições legislativas, regulamentares e administrativas, apresentando-se como objetivos a incorporação da certificação energética de edifícios, a disponibilização de uma metodologia de cálculo para

o desempenho energético de edifícios, a aplicação de requisitos mínimos para esse desempenho, bem como a inspeção regular a sistemas de climatização [3].

Em Portugal, a Diretiva n.º 2002/91/CE foi transposta para o Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, para o Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e para o Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). “Neste contexto, o Estado promoveu com forte dinamismo, a eficiência energética dos edifícios e, por essa via, adquiriu uma experiência relevante, que se traduziu não só na eficácia do sistema de certificação energética, mas também no diagnóstico dos aspetos cuja aplicação prática se revelou passível de melhoria” [4].

A 19 maio de 2010, a Diretiva n.º 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho “vem clarificar alguns dos princípios do texto inicial e introduzir novas disposições que visam o reforço do quadro de promoção do desempenho energético nos edifícios”, criando a oportunidade de melhorar os regulamentos do sistema de certificação energética nacional [4]. Para além destas disposições, os Estados-Membros comprometeram-se “ainda a, até 2020, reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 20%, aumentar em igual percentagem a promoção de fontes de energia renováveis no cabaz energético da União Europeia e alcançar a meta de 20% estabelecida para a eficiência energética” [5]. Posto isto, a 20 de agosto de 2013 entra em vigor o Decreto-Lei n.º 118/2013, onde se passa a ter “num único diploma, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)” [4]. Esta recente abordagem separa claramente o âmbito de aplicação dos Decretos-Lei anteriores, aparecendo assim uma regulamentação para os edifícios de habitação e outra para os edifícios de comércio e serviços. Do decorrer da Diretiva n.º 2010/31/UE, surge o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia passando, a partir de 2018, a ser obrigatório para os edifícios públicos novos e, a partir de 2020, para as restantes novas construções. Com estas e outras medidas existe um esforço no sentido de aproveitar o conhecimento e os avanços tecnológicos onde, com a implementação de soluções e sistemas mais sustentáveis e eficientes, se promove a eficiência energética nos edifícios nacionais, preservando os recursos energéticos e contribuindo para a metas delimitadas entre a União Europeia e Portugal. O Decreto-Lei n.º 118/2013 sofreu posteriormente quatro alterações estando atualmente em vigor o Decreto-Lei n.º 28/2016 de 23 de junho.

Neste contexto é notório qual o papel que a certificação energética dos edifícios apresenta e qual o seu contributo na gestão energética do país – possibilita a criação de um método de comparação entre edifícios, a criação de uma base de informação do edificado português e a previsão dos consumos esperados para as novas construções. Para além disso, com a segmentação dos sistemas consumidores de energia é possível criar uma linha de intervenção e de aplicação de políticas energéticas direccionadas aos sistemas pouco eficientes, uma vez que o setor dos edifícios continua a fazer parte dos grandes consumidores de energia em Portugal e no mundo.

1.1.1 CONSUMOS ENERGÉTICOS EM PORTUGAL

Nos últimos anos verifica-se que a dependência energética de Portugal tem vindo a diminuir. Em 2005, 88,8 % da energia provinha do exterior sendo que, este valor passou para 72,4 % em 2014. Na Figura 1 é apresentada a evolução dos últimos anos para a dependência energética de Portugal, onde os resultados apresentados para 2014 são provisórios [6]. Apesar de ser notório um decréscimo da dependência energética no período de 2005 a 2014, nada garante que esta tendência se replique para os anos seguintes. Existe um esforço realizado neste sentido, mas o consumo energético nacional é fortemente influenciado pelo clima e pela economia, nomeadamente, pela crise que atingiu a Europa e Portugal inclusive. Uma constatação deste facto, poderá ser a estagnação do consumo de energia final e a redução do consumo de energia primária de 2013 para 2014 (2,8%), e também o facto de o ano 2014 ter sido um ano favorável ao nível das energias renováveis, tendo-se registado uma grande disponibilidade de recursos hídricos e eólicos, com um IPH=1,27 (Índice de Produtibilidade Hídrica) e um IPC=1,11 (Índice de Produtibilidade Eólica) [7].

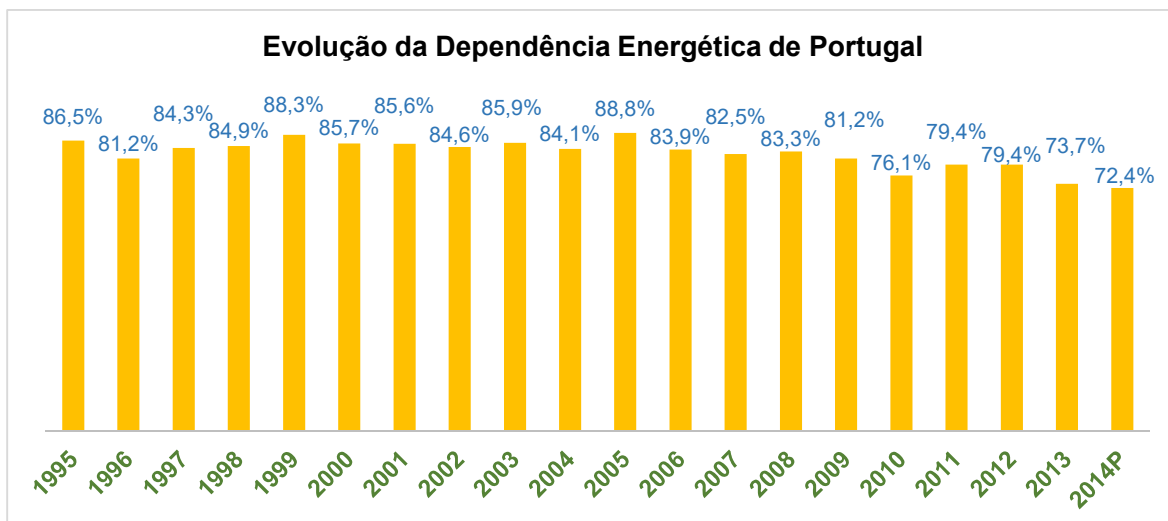


Figura 1 – Evolução da Dependência Energética de Portugal de 1995 a 2014 [6].

Portugal assenta a sua produção elétrica nas centrais térmicas (a carvão e a gás natural) e nas energias renováveis, entre elas a hídrica, a eólica e a biomassa. A produção de eletricidade em 2014 com o recurso a FER corresponde a 61,3% da produção elétrica nacional, onde se verificou uma maior disponibilidade de energia renovável quando comparado com o ano anterior. Perante o consumo energético de energia primária de 20 920 915 tep, na Figura 2 é possível verificar o consumo de energia primária para fins energéticos por cada tipo de fonte de energia primária, onde a “fatia” de petróleo continua a ser a principal fonte de energia primária, embora em relação a 2013, se tenha verificado uma redução de 13,6% nas importações totais de petróleo bruto [7].

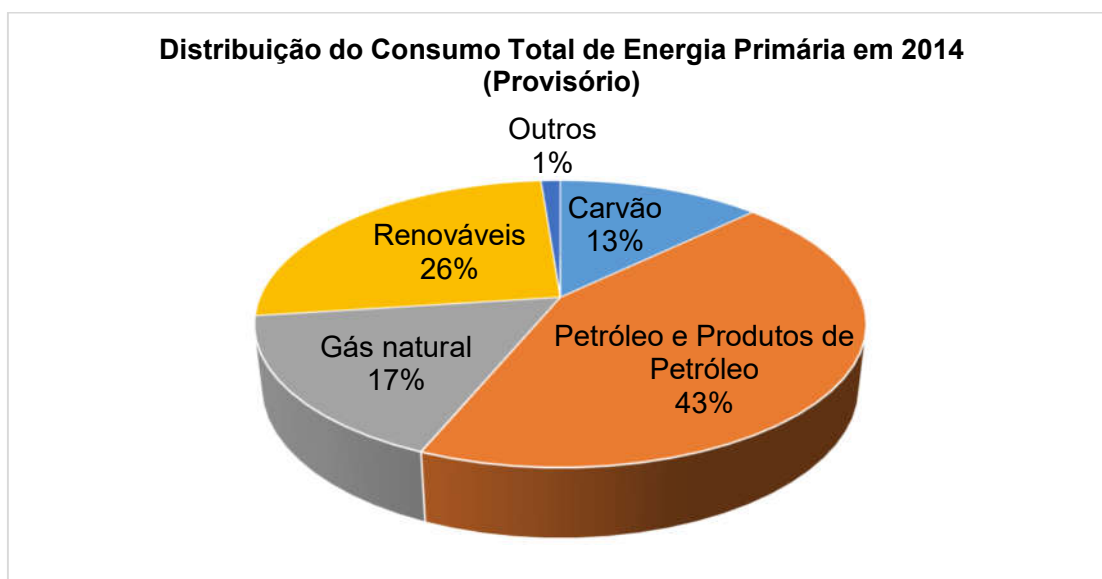


Figura 2 – Distribuição do consumo total de energia primária em 2014 pelos tipo de fonte de energia [6].

Em relação a 1990, em 2013 Portugal atingiu valores de emissão de GEE de + 8% e, comparando com os valores da União Europeia (EU-28) encontrava-se 30% abaixo da média dos 28 países [7]. Segundo a ZERO – Associação Sistema Terrestre Sustentável relativamente às emissões de GEE, 2014 foi o ano com menores emissões desde 1990 (considerando-se o carbono retirado da atmosfera pelos sumidouros), em que se atingiu um balanço de 54,4 milhões de toneladas de dióxido de carbono-equivalente ($\text{Mt CO}_2 \text{ eq}$), sendo a terceira vez que tal aconteceu (excluindo-se a componente de sumidouro, 64,5 $\text{Mt CO}_2 \text{ eq}$). Estes valores indicam que “Portugal está a 3% do objetivo mínimo para 2030 estabelecido pelo Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020 / 2030”, uma vez que conseguiu reduzir as suas emissões em 27% face aos valores de 2005 [8].

O facto de a dependência energética tender a ser cada vez menor, deriva em parte da adoção de políticas energéticas que promovem a produção de energia para autoconsumo, a implementação de sistemas de aproveitamento de energias renováveis e a eficiência energética dos sistemas. Da energia proveniente de fontes renováveis uma parte destina-se à produção direta de eletricidade (2 524 618 tep em 2014), como é o caso da hidroelétrica, da eólica, da fotovoltaica e da geotérmica, e outra parte destina-se ao consumo como energia primária, designando-se por renovável não elétrica (2 883 904 tep em 2014). Para uma melhor perceção da distribuição dos consumos inerentes às energias renováveis no ano 2014, por tipo de fonte de energia, é apresentada a Figura 3. No ano de 2014, verificou-se um aumento do consumo de energia proveniente de fontes renováveis não elétricas como fonte de energia primária de 1,2% em relação a 2013 (solar térmico, lenhas e resíduos vegetais, resíduos sólidos urbanos, licores e sulfitos, outras FER, biogás e biodiesel), onde só 1 057 295 tep (63%) foram utilizados para consumo final pelos setores de atividade. Todas estas tendências beneficiam o ambiente e todos os que nele habitam, encaminhando Portugal para as metas delineadas com os seus parceiros europeus [6], [7].

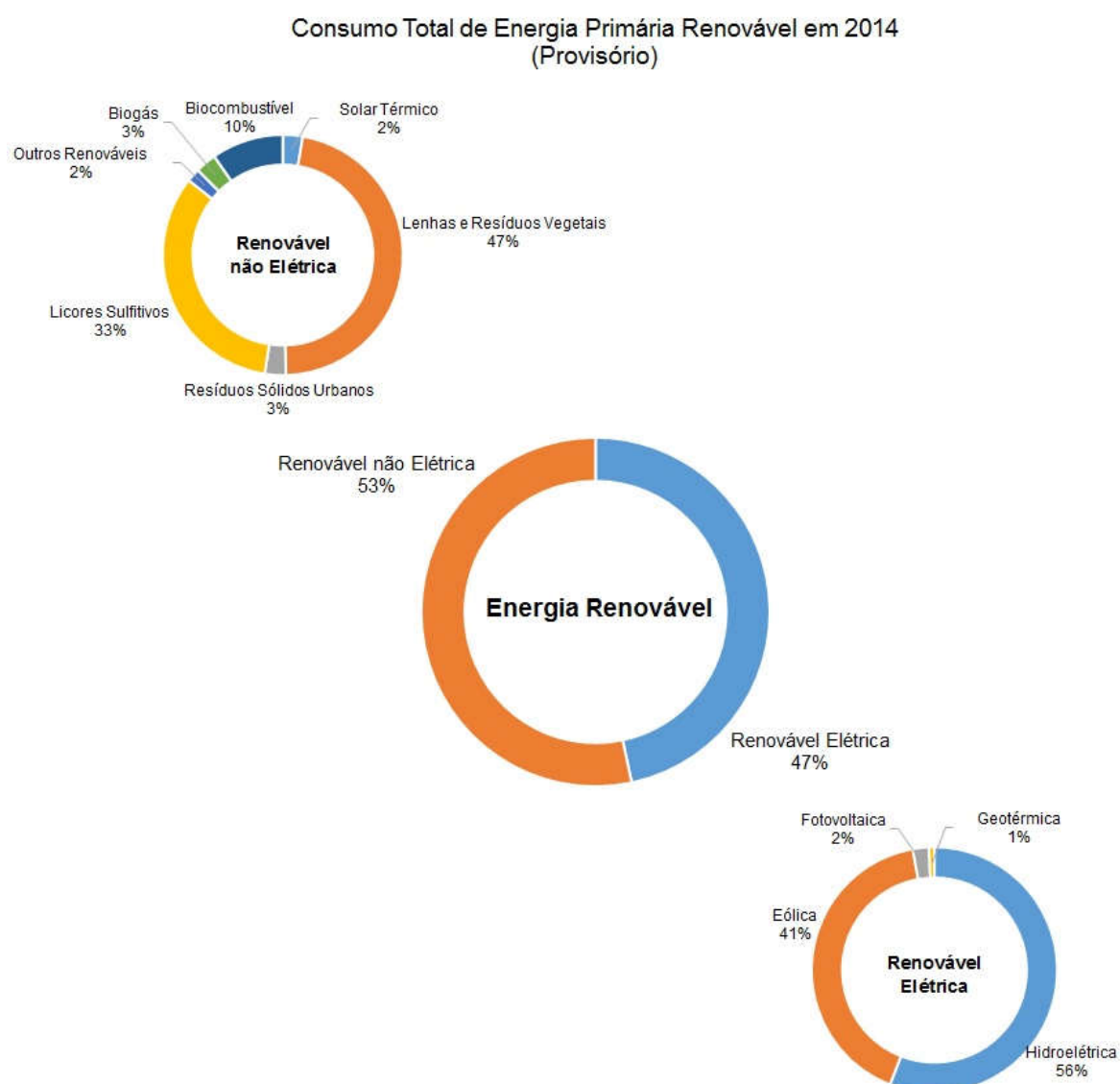


Figura 3 – Distribuição do consumo total de energia primária renovável em 2014 [6].

No que toca ao consumo de energia final por setor de atividade é de assinalar que apresenta uma estagnação em 2014 face a 2013 (15 166 753 tep), onde os principais setores de consumo são os transportes (36%) e a indústria (31%), seguidos do consumo doméstico (17%), dos serviços (13%) e da agricultura e pescas (3%). Os mesmos são apresentados na Figura 4, destacando-se o consumo de energia final por tipo de fonte de energia para o setor dos serviços. Contudo, a partir de 2005 o consumo de energia final apresentou uma taxa de crescimento médio anual de - 2,8%, o que demonstra que os consumos nacionais apresentam uma tendência decrescente proporcionado, em parte, pelas políticas energéticas, como referido anteriormente [6], [7].

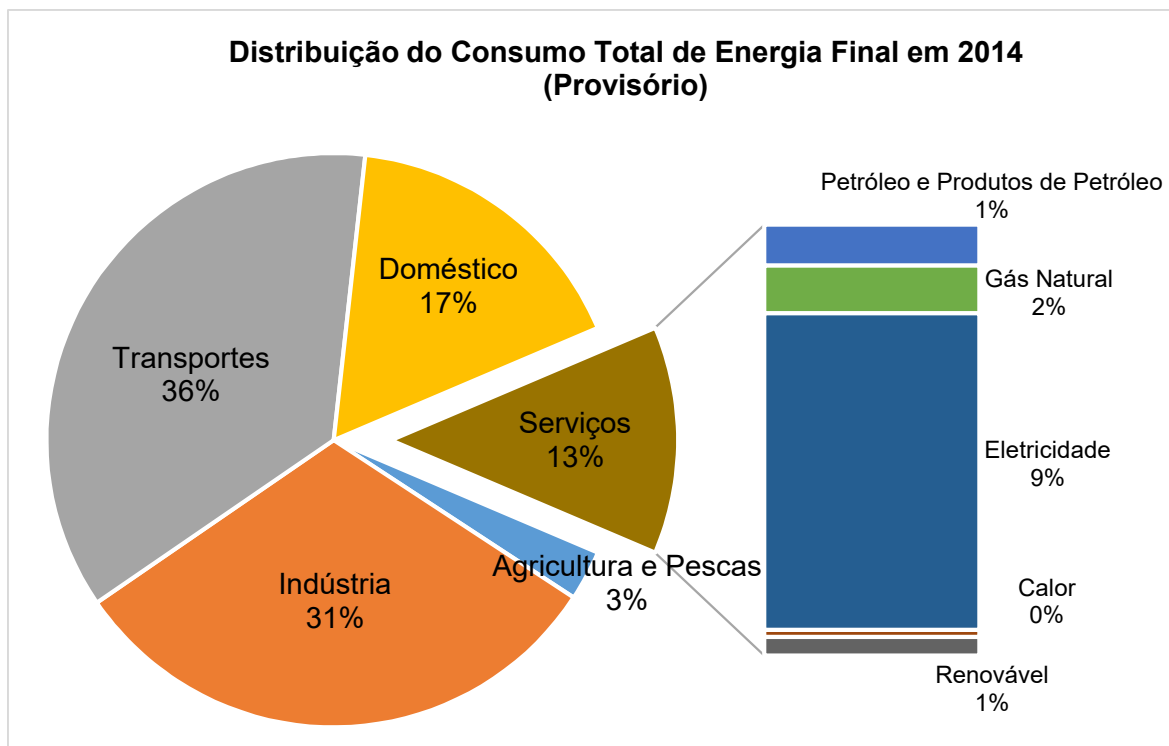


Figura 4 – Distribuição do consumo total de energia final em 2014, por setor de atividade [6].

De referir, que embora as tendências apresentadas sejam bastantes importantes para a economia do país e para um ambiente menos poluído, deve-se continuar a investir, apoiar e recorrer ao apoio de “energia limpa” (não emissora de GEE), para assim se atingirem as metas delineadas. Neste contexto, a reabilitação energética do edificado português apresenta um método eficaz e de análise da implementação de sistemas sustentáveis e de racionalização de energia.

1.2 ENTIDADE ACOLHEDORA – ITECONS

O ITeCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade, com sede em Coimbra, é um instituto constituído por três polos de atuação, nomeadamente o polo de Ciências da Construção, o polo do Conhecimento em Tecnologias da Construção Sustentável e o polo da Energia para a Sustentabilidade sendo que, esta dissertação foi realizada no polo de Energia para a Sustentabilidade e dentro deste, na unidade de consultoria.

O ITeCons é um instituto sob a forma de uma associação sem fins lucrativos, que estabelece uma ligação entre a universidade, a indústria e a sociedade, com um vasto trabalho na investigação e desenvolvimento tecnológico. Este instituto iniciou a sua atividade em 2006, nas instalações do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra. Em 2008, passou a ter as suas próprias instalações, sendo que em 2012 estas foram expandidas num terreno adjacente. (Figura 5).

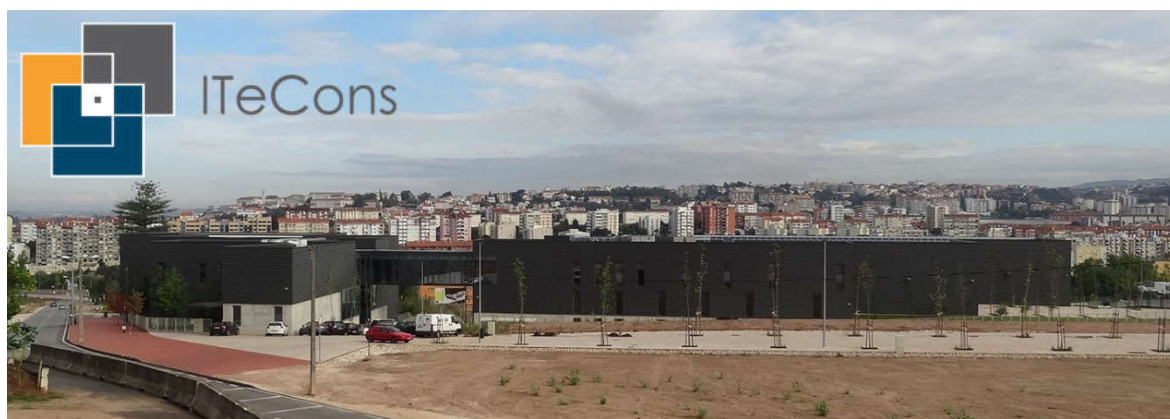


Figura 5 – Instalações do ITeCons.

O ITeCons disponibiliza uma vasta gama de ensaios, com mais de uma centena de ensaios acreditados pelo Instituto Português da acreditação (IPAC), nas áreas da acústica, agregados e inertes, alvenarias, betumes e misturas betuminosas, betões, argamassa, cortiça, aços, isolamentos, pedra natural, solos e outros materiais de construção. Para além disso, o ITeCons presta serviços de consultoria técnica, de projetos de engenharia, de certificação energética de edifícios e de consultoria ambiental, apostando fortemente na investigação e desenvolvimento tecnológico de novas soluções e materiais. São regularmente desenvolvidas ações de formação, *workshops*, seminários e eventos em diversas áreas do conhecimento, principalmente no setor da construção, energia e ambiente. O ITeCons foi reconhecido como entidade qualificada para prestação de serviços de I&DT e inovação e, designada pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ) como Organismo de Avaliação Técnica (OAT). Por último, foi uma das entidades dinamizadoras da criação do Cluster Habitat Sustentável, com o objetivo de valorizar o conhecimento em sustentabilidade do ambiente construído nas empresas [9].

1.3 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação vem de encontro às necessidades e exigências legislativas para a avaliação do desempenho energético dos edifícios em Portugal, bem como da necessidade de racionalização de energia. É por isso, um documento em que se prendem como objetivos gerais:

- verificar a regulamentação aplicável aos edifícios de serviços;
- desenvolver um modelo de simulação que represente energeticamente o edifício em estudo;
- avaliar o desempenho energético do edifício em estudo;
- avaliar técnica e economicamente o impacto da implementação de medidas de racionalização energética.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Com o intuito de dar resposta aos objetivos, este documento encontra-se dividido em seis capítulos e uma secção com apêndices.

O capítulo 1 apresenta uma breve contextualização sobre a evolução das exigências ambientais e energéticas no setor da construção. Também são descritos os consumos energéticos nacionais, os principais objetivos e a organização do documento.

No capítulo 2 expõe-se a revisão bibliográfica, explicitando a legislação aplicável, as metodologias para a execução de auditorias energéticas, a comparação entre as ferramentas computacionais de simulação dinâmica e a identificação de medidas de racionalização energética aplicáveis.

No que diz respeito ao capítulo 3, este detalha toda a metodologia aplicada para o desenvolvimento do caso de estudo, explicitando alguns conceitos da regulamentação.

O capítulo 4 expõe a metodologia aplicada a um caso de estudo até à obtenção da sua classe energética. Para tal, explicita-se o desenvolvimento do modelo de simulação, destacando os vários parâmetros, os vários sistemas e os resultados da auditoria energética.

No capítulo 5 são evidenciadas várias medidas de racionalização energética, com a construção e avaliação de cenários.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões mais relevantes, bem como algumas sugestões de trabalhos futuro.

Por último, são apresentados os Apêndices, com os dados relevantes para o desenvolvimento do caso de estudo, bem como as metodologias e pressupostos implementados no mesmo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

O SCE é um instrumento de política energética que aparece em resposta à aplicação da EPBD. A aplicação deste sistema no âmbito nacional vem contribuir para a divulgação de temas relacionados com a eficiência energética, criando um elo de ligação entre os cidadãos e os agentes de mercado. Atualmente, é um importante mecanismo de recolha de informação dos edifícios nacionais para fins estatísticos, sendo possível verificar o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas técnicos [10].

Como referido anteriormente, a legislação de Portugal Continental ao nível do Sistema de certificação energética dos edifícios assenta no Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, alterado pelos Decretos-Leis n.ºs 68-A/2015, de 30 de abril, 194/2015, de 14 de setembro, 251/2015 de 25 de novembro, e 28/2016 de 23 de junho, onde está transposta a Diretiva n.º 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios. Este Decreto - Lei é constituído por um pacote legislativo do qual fazem parte inúmeras portarias, despachos e Lei. Para além deste pacote legislativo, a entidade reguladora (ADENE) divulgou em maio de 2015 um pacote de Perguntas & Respostas (P&R) que vêm dar “esclarecimentos tidos por necessários sobre a aplicação e/ou interpretação do Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), bem como para a orientação metodológica da atuação dos respetivos técnicos” [11]. Devido às questões suscitadas pela Comissão Europeia, o pacote legislativo sofreu alterações desde a sua entrada em vigor em 2013. Assim, para uma melhor perceção das alterações que foram decorrendo, apresenta-se a Tabela 1, onde são claros os Decretos-Lei, as portarias e despachos revogados até à data. Na tabela supracitada a informação contém um código de cores, onde a cinzento está representada o ano da entrada em vigor do pacote legislativo do Decreto-Lei n.º 118/2013, a preto estão representadas as Declarações de Retificação (D.Ret) as portarias e despachos, a azul está representada a primeira alteração, a laranja está representada a segunda alteração, a verde está representada a terceira alteração, e a púrpura está representada a quarta alteração ao pacote legislativo.

Tabela 1 – Legislação aplicável atualmente [9].

LEGISLAÇÃO APLICÁVEL				
ÂMBITO DE APLICAÇÃO	2013	2014	2015	2016
Sistema de Certificação Energética dos Edifícios	Decreto-Lei n.º 118	-	Decreto-Lei n.º 68-A/ Decreto-Lei n.º 194/ Decreto-Lei n.º 251	Decreto-Lei n.º 28
Requisitos de acesso e de exercício dos técnicos do SCE	Lei n.º 58	-	-	-
Competências da entidade gestora do SCE	Portaria n.º 349-A	-	Portaria n.º 115	Portaria n.º 39
Requisitos do REH	Portaria n.º 349-B	-	Portaria n.º 379-A	-
Elementos para Licenciamento	Portaria n.º 349-C	D.Ret. n.º 4	Portaria n.º 405	-
Requisitos do RECS	Portaria n.º 349-D	D.Ret. n.º 3	-	Portaria n.º 17-A
Requisitos de Ventilação e QAI (RECS)	Portaria n.º 353-A	D.Ret. n.º 2	-	-
Modelo tipo de CE	Despacho n.º 15793-C	-	-	Despacho n.º 6469
Fatores de conversão para energia primária	Despacho n.º 15793-D	D.Ret. n.º 129	-	-
Regras de Simplificação	Despacho n.º 15793-E	-	-	-
Parâmetros para o Zonamento Climático	Despacho n.º 15793-F	D.Ret. n.º 130	-	-
Elementos no procedimento de ensaio, receção da instalação e plano de manutenção	Despacho n.º 15793-G	-	-	-
Regras de quantificação e contabilização de Sistemas	Despacho n.º 15793-H	-	-	-
Cálculo das necessidades nominais anuais	Despacho n.º 15793-I	D.Ret. n.º 128	-	-
Determinação da Classe Energética	Despacho n.º 15793-J	-	-	-
Parâmetros Térmicos	Despacho n.º 15793-K	D.Ret. n.º 127	-	-
Apuramento da Viabilidade Económica	Despacho n.º 15793-L	-	-	-
Sistema de avaliação dos técnicos do SCE	-	Portaria n.º 66	-	-
Critérios de verificação de qualidade	-	-	Despacho n.º 7113 / D.Ret. n.º 769	-
Classificação dos ascensores, tapetes rolantes e escadas mecânicas	-	-	Despacho n.º 8892	-
Determinação do <i>Qusable</i> e SPF	-	-	Despacho n.º 14985	-
Programa de cálculo para a contabilização das energias renováveis	-	-	-	Despacho n.º 3156
Definição dos requisitos de um PRE	-	-	-	Despacho n.º 6470

Visto que o caso de estudo que será analisado se enquadra no âmbito do RECS, torna-se relevante escrutinar a sua aplicação, sendo que o estudo será desenvolvido de acordo com a terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, o Decreto-Lei n.º 251/2015.

Tendo em consideração que o trabalho desenvolvido no âmbito da presente dissertação foi realizado entre fevereiro e junho, a metodologia e o caso de estudo não entram em linha de conta com as alterações introduzidas no Decreto-Lei n.º 118/2013, na sequência da publicação do Decreto-Lei n.º 28/2016 de 23 de junho. Para além disso, as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 28/2016 de 23 de junho não têm influência direta no cálculo do desempenho energético dos edifícios, pelo que, a sua consideração não teria um impacto direto nos resultados do trabalho desenvolvido.

O RECS apresenta os requisitos de conceção relativos aos edifícios de serviços, podendo estes ser classificados em PES (Pequenos Edifícios de Comércio e Serviço) ou GES (Grandes Edifícios de Comércio e Serviço), ou seja, considera-se GES os edifícios com uma área interior útil de pavimento, descontando os espaços complementares, de 1000 m², ou 500 m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas e, consideram-se PES todos aqueles que não são GES [12].

Prende-se como objetivo principal a determinação do Indicador de Eficiência Energética (IEE), Equação 1, para se aferir o desempenho energético de um edifício de comércio e serviços, em que se contabilizam os consumos energéticos anuais por fonte de energia para usos do Tipo S e para usos do Tipo T (ver Tabela 3), deduzindo o valor de produção energética efetivamente utilizada ou passível de ser utilizada no edifício a partir de fontes de energia renovável (elétrica ou térmica) [13]. Os fatores de conversão entre energia final e energia primária, são de 2,5 kWh_{EP}/kWh para a eletricidade e de 1,0 kWh_{EP}/kWh para os combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis [14]. Na Equação 1 o IEE representa o indicador de eficiência energética, o IEE_S representa os consumos de energia de usos do Tipo S, o IEE_T representa os consumos de energia de usos do Tipo T, e o IEE_{Ren} representa os consumos de energia de origem renovável.

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{ren} \text{ [kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})] \quad \text{Equação 1}$$

Para além deste indicador, também se determinam as emissões de CO₂ associadas ao consumo de energia final, onde os fatores de conversão de energia primária para emissões de CO₂ são apresentados na Tabela 2 [14].

Tabela 2 – Fatores de conversão na determinação das emissões de CO₂ (adaptado [14]).

FONTE DE ENERGIA	FATOR DE CONVERSÃO [kgCO₂/kWh_{EP}]
Eletricidade	0,144
Gasóleo	0,267
Gás Natural	0,202
GPL canalizado (propano)	0,170
GPL garrafas	
Renovável	0,000

Para efeito da determinação da classe energética (Equação 2), apenas os consumos energéticos do Tipo S, a parcela referente à energia renovável e os consumos energéticos do edifício de referência são contabilizadas no rácio de classe energética [15]. Na Equação 2 o R_{IEE} representa o rácio de classe energética e o $IEE_{Ref,S}$ representa os consumos de energia de usos do Tipo S de referência.

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{ren}}{IEE_{ref,S}} \quad \text{Equação 2}$$

Com o intuito de diferenciar os consumos do Tipo S e consumos do Tipo T em vigor, é apresentada a Tabela 3 [16].

Tabela 3 – Caracterização dos consumos do Tipo S e T (adaptado de [16]).

CONSUMOS DO TIPO S	CONSUMOS DO TIPO T
<ul style="list-style-type: none"> - Aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humedificação e desumidificação - Ventilação e bombagem em sistemas de climatização - Aquecimento de águas sanitárias e de piscinas - Iluminação interior - Elevadores, escadas e tapetes rolantes - Iluminação exterior 	<ul style="list-style-type: none"> - Ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica - Equipamentos de frio - Iluminação dedicada e de utilização pontual - Todos os restantes equipamentos e sistemas não incluídos nos consumos do Tipo S

Para se obter a informação relevante à criação de um modelo de simulação, é importante a visita ao edifício em estudo, onde no mínimo se tem de ter em consideração o levantamento de elementos de volumetria, envolvente, ocupação, sistemas de

climatização, águas quentes sanitárias e de piscinas, iluminação, elevadores, escadas e tapetes rolantes entre outros equipamentos e consumos [16].

Para os elementos de volumetria são necessários a recolha do tipo de espaço, do pé-direito, das áreas em contato com o solo, das áreas totais do pavimento do espaço, das áreas da envolvente vertical e horizontal, exterior e interior, opaca e envidraçada [16].

Para os elementos de envolvente é necessário a caracterização dos materiais de construção e da inércia térmica do edifício, para os elementos de ocupação e iluminação são necessários os perfis de utilização, em que para a iluminação, também são importantes a caracterização do tipo de lâmpada e as suas potências [16].

Para os elementos de sistema de climatização é necessário o levantamento do tipo de sistema, das características técnicas e os seus perfis de utilização, e para um GES existente com caldeira de potência nominal maior que 100 kW, o seu rendimento tem de ser determinado por medição efetiva ou por monitorização [16].

Para os elementos de água quente sanitária e de piscinas deve-se levantar o consumo médio diário e a caracterização técnica do tipo de sistema utilizado, e para os elementos elevadores, escadas e tapetes rolantes é necessário levantar a potência dos motores, o tempo médio em manobra, a carga nominal e a velocidade média. Para todos os outros equipamentos e consumos devem ser levantados a sua densidade e perfis de utilização quando dissipem energia para o espaço. Para os que não resultam em cargas térmicas para os espaços, devem ser contabilizados a partir de um consumo médio anual [16].

Todos estes elementos são de extrema importância para o desenvolvimento do modelo energético do edifício, bem como para a concretização do modelo de referência [16].

2.1.1 REQUISITOS ENERGÉTICOS E DE QAI

De acordo com as exigências e disposições regulamentares, é necessário a verificação de requisitos mínimos, para se garantir a eficiência dos sistemas e a qualidade do ar interior (QAI).

No que diz respeito aos requisitos energéticos estes são atribuídos ao nível da qualidade térmica da envolvente, dos sistemas de climatização, de preparação de águas quentes sanitárias (AQS), do sistema de iluminação, do sistema de regulação, controlo e

gestão técnica, dos elevadores, do sistema de energias renováveis, entre outras soluções de eficiência energética.

Para a qualidade térmica da envolvente existem valores limites tabelados do coeficiente de transmissão térmica, para a envolvente opaca e exterior, e para os vãos envidraçados exteriores. Estes requisitos são cada vez mais exigentes uma vez que têm uma elevada influência no desempenho energético de um edifício.

Para os sistemas de climatização é delineada uma abordagem idêntica, uma vez que se apresentam valores limites para a eficiência térmica dos sistemas, devendo estes ser abordados como princípio de dimensionamento. Para além disso, estes devem cumprir requisitos específicos para os subsistemas de produção e distribuição de energia, bem como no controlo, na regulação e na monitorização dos sistemas.

Para a preparação de AQS, estes também estão sujeitos a requisitos gerais na sua eficiência térmica, bem como ao nível dos subsistemas de produção e distribuição, e no controlo, regulação e monitorização de sistemas.

Para o sistema de iluminação deve-se garantir os requisitos para os parâmetros de iluminação, conforme a norma europeia EN 12464-1 e EN 15193, entre eles, a densidade de potência de iluminação, a iluminância e para o controlo, regulação de fluxo, monitorização e gestão do sistema. Também são impostos limites e condições gerais a todos os outros requisitos energéticos, que devem ser considerados de modo a estarem em conformidade [16].

No que diz respeito ao QAI deve-se assegurar o bem-estar e a saúde dos ocupantes, e visto que se trata de um problema de saúde pública, é importante garantir os valores mínimos de caudal de ar novo para cada espaço, em função do número de utilizadores, das características do edifício, do sistema de climatização e, manter as concentrações dos poluentes abaixo dos limiares de proteção. Para se garantirem estes limiares de proteção deve-se determinar este caudal mínimo de ar novo recorrendo ao método prescritivo ou ao método analítico. Para tal, é preciso adotar técnicas de ventilação natural, e se necessário, sistemas de ventilação mecânica, para se atingirem essas condições [16].

2.2 METODOLOGIAS APLICÁVEIS

2.2.1 AUDITORIA ENERGÉTICA A EDIFÍCIOS DE SERVIÇOS

Com o objetivo de uma desagregação mais sustentada e mais próxima do consumo real, deve-se recorrer a uma análise e avaliação energética dos potenciais consumidores de energia. Para isso, recorre-se a uma auditoria energética, onde são monitorizados os consumos energéticos dos equipamentos, com o intuito de procurar caracterizar as condições de utilização de energia, de desagregar os consumos pelos vários consumidores, de obter os indicadores energéticos e de identificar as oportunidades de racionalização de energia. Para além disso, uma auditoria deve ser complementada com uma avaliação técnico-económica das oportunidades encontradas, apresentando toda esta informação num relatório final [17]. Atualmente, a legislação é bastante exigente levando à necessidade da execução de auditorias energéticas e da apresentação de Planos de Racionalização Energética (PRE). Estão abrangidos por esta necessidade os GES licenciados após a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 118/2013, tendo o seu limiar de classe energética de ser no mínimo de B⁻ para GES novos e, para GES existentes, no mínimo de D até 31 de dezembro de 2015 e de C após essa data. No PRE é importante a apresentação e a análise do contributo de medidas de eficiência energética, bem como um plano de investimento [13].

Para a execução de uma auditoria energética é necessário o seu planeamento e familiarização dos sistemas, a monitorização em campo, o tratamento e análise dos dados documentais obtidos, e ainda o relatório final. Neste relatório é necessário constar toda a informação recolhida, as análises adotadas, culminando na determinação dos consumos específicos de energia e nas medidas de eficiência energética. Normalmente, divide-se a realização de uma auditoria em quatro fases, a “recolha de dados documentais e análise dos elementos obtidos”, a(s) “visita(s) às instalações com exames aos equipamentos”, a “análise dos dados recolhidos” e a identificação de oportunidades de racionalização de consumos. Embora as classificações sejam subjetivas, poder-se-á nomear essas fases em 4 tipos de auditoria, “Auditoria sintética”, “Auditoria genérica/deambulatória”, “Auditoria analítica” e “Auditoria tecnológica”, respetivamente [17].

Para se analisarem os vários consumidores energéticos e o comportamento do edifício, várias medições poderão ser desenvolvidas numa auditoria. Devem-se considerar medições aos equipamentos elétricos mais importantes, medições térmicas e de fluxos. Para se proceder às medições dos equipamentos elétricos, pode-se recorrer a

analisadores de energia, de modo a serem determinados os consumos ou as potências dos principais equipamentos. No caso das medições térmicas, pode-se recorrer à termografia e a analisadores dos gases de combustão e para as medições de fluxos pode-se recorrer à análise do ar interior, à determinação dos caudais insuflados por ventilação mecânica, com recurso a anemómetros por exemplo, e à medição da intensidade de iluminação, recorrendo a luxímetros. Também se pode efetuar muitas outras medições, como por exemplo a avaliação das infiltrações do edifício, com o recurso ao teste *blower door* [17].

2.2.2 SIMULAÇÃO DINÂMICA DE EDIFÍCIOS DE SERVIÇOS

No que diz respeito à aplicação do RECS, é possível aplicar vários métodos para avaliar a resposta térmica do edifício e os seus consumos energéticos, sendo eles a simulação dinâmica multizona (método base), o cálculo dinâmico simplificado ou através do consumo efetivo.

A utilização de uma análise multizona possibilita a distinção entre espaços que possuam diferentes características, determinando um balanço energético em cada um desses espaços e, posteriormente, possibilita a determinação do desempenho energético do edifício. Este, de forma geral, apresenta uma metodologia bastante mais detalhada, que possibilita a incorporação de diferentes condições entre espaços, culminando num balanço energético para o edifício. Assim, para um programa que aplique o método de simulação dinâmica multizona poder ser utilizado no âmbito do RECS, é necessário que este esteja acreditado pela norma ASHRAE 140, o qual deve ter, no mínimo, a capacidade de:

- modelar mais do que uma zona térmica [13];
- poder desempenhar uma análise horária de 8760 horas, avaliando para cada incremento as cargas internas, tais como a ocupação, a iluminação e os equipamentos [13];
- possibilitar o ajuste da temperatura de cada zona térmica e a operação dos sistemas de climatização, permitindo independentemente a parametrização para os dias de semana e para os fins-de-semana [13];
- possibilitar a recuperação de calor do ar rejeitado [13];
- considerar o efeito da massa térmica dos edifícios [13].

Como o próprio nome indica, a utilização de uma análise monozona (cálculo dinâmico simplificado) implica considerar a zona térmica do edifício como se correspondesse a um único espaço, onde todos os ganhos e perdas de calor ocorrem para

esse espaço. Caso se opte, e seja possível, a aplicação do cálculo dinâmico simplificado, é necessário também garantir que este resolva um balanço energético numa base horária, cumprindo com a norma EN ISO 13790 (modelo RC ou 5R1C), para a estimativa das necessidades de energia em aquecimento e arrefecimento, bem como garantir que este estime o consumo de energia anual dos restantes usos. Para o cumprimento da norma EN ISO 13790 devem assumir-se como simplificações metodológicas e pressupostos [13]:

- o cálculo das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento para uma zona térmica [13];
- a introdução de perfis de utilização em hora solar [13];
- a utilização de dispositivos de proteção solar quando a radiação solar incidente exceda os 300 W/m² [13];
- considerar os fatores solares e de obstrução, a fração envidraçada, o coeficiente de redução de perdas para edifícios adjacentes e para espaços complementares com $b_{tr} > 0,7$, o coeficiente de absorção solar da envolvente opaca e das pontes térmicas planas, quando consideradas, e ainda o coeficiente de transmissão térmica da envolvente exterior, interior e em contacto com o solo [13].

2.2.3 DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DINÂMICA

Em qualquer etapa do desenvolvimento de um modelo de simulação dinâmica é necessário considerar pressupostos. Por forma a minimizar os erros inerentes aos pressupostos usados, devem-se validar as informações utilizadas, onde as ferramentas de simulação podem ser bastantes úteis para verificar a qualidade dos parâmetros introduzidos [18].

Para além de todos os pressupostos introduzidos no modelo de simulação, os erros inerentes aos programas utilizados para a obtenção de resultados são inevitáveis. Cada programa contém os seus erros, que podem ter origem em gralhas nos parâmetros introduzidos, na falta de compreensão do programa em utilização ou mesmo em “bugs” informáticos dos programas. Estes erros podem não comprometer a validade da simulação dinâmica, mas o utilizador deverá manter uma postura crítica e cética relativamente aos resultados obtidos [18].

Para o desenvolvimento de um modelo de simulação várias metodologias poderão ser adotadas. Pedrini *et al.* apresenta uma comparação dos impactos nos resultados obtidos aquando da aplicação de uma metodologia de desenvolvimento de modelos dinâmicos, com sucessivos níveis crescentes de complexidade, onde avalia o nível de

esforço e os recursos necessários para a obtenção de modelos satisfatórios. O principal parâmetro de aceitação do modelo é a comparação dos resultados obtidos com os consumos reais do edifício. Segundo a metodologia aplicada por Pedrini *et al.*, o processo pode ser dividido em três etapas. A primeira etapa foca-se na avaliação energética do edifício recorrendo apenas a informação disponível, sem visitar o mesmo. A intenção é ter um modelo baseado em informação existente para estimar os seus consumos energéticos, recorrendo-se a pequenos refinamentos do modelo com a informação disponível. A segunda etapa consiste numa visita ao local, apoiada por um representante familiarizado com o edifício, e a realização de uma auditoria, com monitorizações pontuais aos equipamentos instalados, entre outros. A terceira etapa consiste na desagregação do consumo de energia pelos vários consumidores energéticos recorrendo a medições dos consumos reais dos sistemas de climatização. Assim, conclui-se que todas as fases permitem sucessivamente, aumentar a precisão do modelo e, a influência de cada uma destas fases, dependendo da qualidade da informação obtida [19].

Yoon e Lee apresentam uma metodologia para desenvolver modelos de avaliação do desempenho energético de edifícios baseada num procedimento passo a passo, e com uma abordagem robusta. Da consequência desta metodologia, uma posterior análise de medidas de racionalização energética torna-se mais confiável.

As etapas que constituem a metodologia desenvolvida são:

- O desenvolvimento do modelo de simulação com todos os parâmetros intrínsecos ao desempenho energético, com os dados fornecidos/obtidos (faturas energéticas, entrevistas, projetos e plantas do edifício, visita ao local, entre outros);
- A obtenção dos diagramas de carga dos consumos pelos diferentes consumidores energéticos, recorrentes de uma visita ao edifício;
- Uma primeira calibração com os dados obtidos anteriormente;
- Uma nova visita ao local para verificar, ou encontrar, razões de discrepâncias;
- A calibração do modelo, com uma análise de sensibilidade aos sistemas de aquecimento e arrefecimento;
- Validação do modelo desenvolvido;
- Avaliação de medidas de racionalização energética.

Nesta metodologia, a calibração do modelo de simulação dinâmica consistiu na comparação dos resultados simulados com os consumos medidos e reais do edifício. Depois de Yoon e Lee aplicarem esta metodologia a um caso de estudo, conseguiram obter um modelo calibrado, de modo a analisarem medidas de melhoria [20].

2.2.4 APRESENTAÇÃO DE PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO DINÂMICA DE EDIFÍCIOS

O apoio de um programa de simulação ou de uma folha de cálculo, torna-se indispensável para se alcançarem resultados com um intervalo temporal no mínimo horário. Para dar esse apoio, existe uma grande variedade de programas disponíveis, que utilizam na sua base as equações termodinâmicas e matemáticas necessárias para avaliar todo o desempenho energético do edifício num período anual. Dentro da variedade de programas disponíveis encontra-se o *Green Building Studio*® (GBS), o *DesignBuilder*®, o *DOE-2.2*, o *EnergyGauge*®, o *EnergyPlus*®, o *EnergyPro*, o *eQUEST*®, o *Hourly Analysis Program* (HAP), o *Tas Engineering*, o *TRACE 700*, o *Integrated Environmental Solutions* (IES), o *TRaNsient SYstems Simulation program* (TRNSYS), entre outros. De modo a perceber-se melhor a aplicabilidade destes programas, são apresentadas algumas características do *eQUEST*®, *DesignBuilder*®, *GBS*, *HAP*, bem com do *DOE-2.2* e do *EnergyPlus*®.

O programa *eQUEST*® é uma ferramenta com interface gráfica que apresenta resultados bastante plausíveis, sem necessitar de elevado esforço, uma vez que a combinação entre o módulo de modelação de edifícios, o módulo de medidas de eficiência energética e o módulo de apresentação de resultados é bastante intuitiva, o que permite a um utilizador não muito experiente atingir com alguma facilidade os resultados do desempenho energético do edifício. Para tal, o utilizador terá de seguir alguns passos onde caracteriza todos os elementos que afetam o edifício energeticamente, tais como a arquitetura, os elementos construtivos, os sistemas de climatização, os equipamentos, a ocupação e o sistema de iluminação. Depois da caracterização dos elementos necessários, o programa utiliza os recursos do motor de cálculo *DOE-2.2*, um mecanismo de simulação comprovado e validado para fornecer o consumo de energia, acreditado pela norma ASHRAE 140 [21]. Os resultados são apresentados em vários formatos de gráficos permitindo ainda executar várias simulações e visualizar os seus resultados lado a lado [22]. Um dos seus potenciais foca-se na sua velocidade de execução que torna viável a análise de várias simulações de modelos complexos, destacando várias interações críticas entre os sistemas e o edifício [23].

O *DesignBuilder*® é uma interface gráfica bastante intuitiva de usar, que utiliza como motor de cálculo o *EnergyPlus*®, possibilitando tirar um maior partido desta ferramenta com grande potencial. O *EnergyPlus*® é um programa modular estruturado com base nas melhores capacidades e características do *Blast* e do *DOE-2.1E* [22]. Este tem a

capacidade de resolver balanços energéticos nos intervalos de tempo definidos pelo utilizador, considerando os efeitos convectivos, radiativos e a transferência de calor e de massa entre zonas térmicas. Neste balanço entra-se com todos os ganhos e perdas que ocorrem dentro da zona térmica, fornecendo posteriormente relatórios detalhados dos resultados. Visto que a utilização do *EnergyPlus*®, é bastante complexa, com o *DesignBuilder*® torna-se tudo bastante mais acessível e intuitivo. Neste programa é necessário definir um ficheiro climático do local do edifício, iniciar a modelação do edifício, incorporando todos os elementos que o constituem, e posteriormente, definir os elementos construtivos, os equipamentos, a iluminação, a ocupação e os sistemas AVAC, obtendo assim um modelo passível de ser simulado. Nesta fase, o *DesignBuilder*® codifica todos os parâmetros introduzidos no modelo de modo a serem descodificados pelo *EnergyPlus*®, e assim, obtém-se os resultados no formato que o utilizador definir. O *DesignBuilder*® permite a construção de geometrias complexas, onde através dos vários módulos que o constituem, é possível fornecer uma análise aprofundada do uso de energia e dos consumos no edifício [23].

O programa *Autodesk® Green Building Studio® (GBS)*, é mais uma interface gráfica que utiliza como motor de cálculo o *DOE-2.2*, como o *eQUEST*® anteriormente referido, embora também possa converter os dados para um formato compatível com o *EnergyPlus*®, o *eQUEST*® entre outros. O *GBS* é uma ferramenta que permite uma análise rápida e precisa dos modelos energéticos, possibilitando através da plataforma online recolher informação sobre os parâmetros mais adequados a utilizar para as soluções construtivas, os sistemas, os materiais mais apropriados, entre outros parâmetros, e tudo isto com a perceção da localização do edifício, do seu tamanho e tipo de uso. O elevado potencial deste programa permite a arquitetos, engenheiros, projetistas e a outros utilizadores, atingir rapidamente modelos energéticos para definirem posteriormente aspetos específicos da conceção do projeto, variando todos os constituintes que desejarem, e assim, poder-se analisar os resultados da pegada ecológica e do desempenho energético do edifício. Isto proporciona uma maior rapidez na avaliação da eficiência energética dos projetos, de modo a ir ao encontro de uma neutralização da pegada carbónica e da obtenção de modelos energeticamente autossustentáveis [24].

O *Hourly Analysis Program (HAP)* é um programa criado pela *Carrier* com o intuito de facilitar o dimensionamento de sistemas AVAC para edifícios. Embora seja esse o seu principal objetivo, é possível desenvolver toda a análise energética para um edifício, contendo todos os requisitos para a aplicação do RECS. O *HAP* não apresenta uma visualização gráfica do modelo energético, mas utiliza um explorador de acesso rápido para

se definirem todos os parâmetros térmicos e energéticos que afetam o desempenho do edifício, possibilitando economizar tempo na obtenção de resultados. Uma vez que não é necessária a fase de modelação do edifício, também se torna num recurso bastante útil para projetos preliminares e de seleção de soluções. Tendo todos os parâmetros definidos, como as paredes, as janelas, a iluminação, a ocupação, os equipamentos, entre outros, são apresentados resumos de todo o dimensionamento e um relatório de análise energética, onde se obtêm as necessidades do projeto [25].

Na generalidade, todos os programas permanecem em constante atualização, de modo a serem cada vez mais precisos e a representarem todo o desempenho energético dos edifícios com o mínimo erro possível. Para além disso, é importante que estes tipos de programas encaminhem os utilizadores para projetos sustentáveis, uma necessidade cada vez mais importante para a sociedade, visto que num futuro próximo será a base da construção dos edifícios em Portugal, na Europa e no Mundo. Por isso, a apresentação de indicadores de carácter sustentável é bastante relevante na fase de projeto, para se fornecer ao utilizador uma melhor perceção do desempenho térmico e energético do edifício.

Depois desta análise de programas, é de referenciar que, no seu global, todos são adequados à aplicação do caso de estudo, que será apresentado no Capítulo 4. Visto que existe a disponibilidade do programa *DesignBuilder*® e *HAP*, optou-se pela utilização do *DesignBuilder*®, pois em relação ao *HAP*, apresenta uma melhor interação com o utilizador, possibilita a modelação *CAD* (*Computer Aided Design*) do modelo energético e utiliza uma potente ferramenta de cálculo, o *EnergyPlus*®. Para além disso, e visto que o caso de estudo apresenta vários edifícios interligados ao mesmo contador energético, a utilização do *DesignBuilder*® leva a uma análise mais intuitiva, assim como uma análise mais detalhada ao nível do zonamento térmico. Por sua vez o *HAP*, em comparação com o *DesignBuilder*®, permite a obtenção de resultados mais rápido, uma vez que o tempo computacional para o desenvolvimento do caso de estudo e para a obtenção de resultados no *DesignBuilder*® é maior.

2.2.5 MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICA

“Graças à utilização de energia, temos acesso a um estilo de vida que seria impossível desfrutar caso não dispuséssemos de recursos energéticos” [26]. Note-se que a energia ultrapassa uma série de etapas até chegar aos seus utilizadores, como a sua extração, transformação e transporte, em que todas proporcionam a produção de resíduos que contaminam os lençóis freáticos, a atmosfera e os solos [26]. Como se pôde verificar

anteriormente, uma vez que os edifícios são grandes consumidores de energia, é necessário intervir e adotar métodos de reabilitação energética, para se minimizar o impacto que o aumento do consumo energético possa causar no ambiente.

Caso se pretenda intervir no edifício, deve-se ponderar a aplicação de medidas sustentáveis que beneficiem a redução de energia no edifício. Nesta lógica, existe sempre o conceito de viabilidade, o que em parte, influencia bastante o caminho a ser aplicado. A ponderação daquilo que o proprietário pensa ser necessário, do benefício que traz para si e do custo associado à implementação das medidas de eficiência energética, fazem parte da decisão de reabilitação de um edifício, sendo que a análise de viabilidade económica e funcional representam um papel de elevada importância.

“As atuais exigências do mercado da construção não deixam margem para dúvidas de que a aposta nas energias renováveis é incontornável para arquitetos, construtores e todos os envolvidos no processo da construção de edifícios. As normas europeias são claras e exigem um máximo respeito pelo meio ambiente, seja nas construções de raiz, seja na área da reabilitação, tendo em vista a sustentabilidade máxima dos edifícios” [27]. Neste contexto, a mudança de hábitos das populações e o recurso a fontes de energia renováveis são os meios mais favoráveis para atingir a utilização de energia eficaz e sustentável. O potencial deste tipo de energia converge para o facto de ter um impacto ambiental nulo na emissão de GEE. Os métodos para rentabilizar o consumo energético nos edifícios passam por melhorar os elementos construtivos, como por exemplo, a colocação de isolamento em paredes pelo exterior e nas coberturas, a incorporação de uma componente envidraçada mais eficiente, a substituição do sistema de iluminação por uma tecnologia mais eficiente, a incorporação de sistemas de eficiência hídrica, a substituição de equipamentos de climatização por outros com elevada eficiência, a substituição de equipamentos eletrónicos, entre outros [17], [26], [28]. Todas estas medidas devem ser avaliadas para o meio onde se inserem, visto que o seu contributo pode não justificar a sua implementação. Assim sendo, a análise deve incidir sobre os principais consumidores de energia, pois estes são os que podem oferecer maior viabilidade aos projetos. Quando se utiliza um programa de simulação dinâmica, a análise de medidas de eficiência energética torna-se mais simples, onde rapidamente se conseguem estimar as poupanças e o comportamento que essas medidas, individualmente ou em conjunto, têm no desempenho energético do edifício.

A escolha de medidas de eficiência energética não obedece a nenhuma regra, embora várias abordagens de apoio a métodos e ferramentas de otimização tenham ganho

destaque [29]. Vários estudos foram desenvolvidos neste sentido com o objetivo de validar metodologias de aplicação para a seleção de medidas de melhoria. Shao *et al.* estabeleceu um método baseado em modelos de apoio às tomadas de decisão, à casa da qualidade, à abordagem de funções objetivo e, em procedimentos computacionais de otimização numérica para a avaliação de medidas de racionalização energética [29]. Kaklauskas *et al.* desenvolveu um método de apoio à decisão da implementação de medidas de melhoria, apoiado na determinação de relevância, na prioridade e no benefício das alternativas, permitindo avaliar de maneira qualitativa o grau de cada medida [30]. Juan *et al.* efetuou um estudo baseado num algoritmo genérico de apoio à decisão para a avaliação do custo e da qualidade da implementação de medidas de melhoria [31].

3 METODOLOGIA ADOTADA

3.1 SÍNTESE METODOLÓGICA

Para se avaliar o desempenho energético de um edifício de serviço existente (nomeadamente um GES) é necessário desenvolver várias etapas com a determinação de vários elementos. Inicialmente devem ser solicitados ao proprietário alguns elementos, tais como: as telas finais do projeto de arquitetura, bem como das outras especialidades (iluminação; AVAC; ...); as fichas técnicas e os relatórios de manutenção dos equipamentos instalados; cópia da Caderneta Predial Urbana e cópia da Certidão de Registo da Conservatória; faturas dos consumos energéticos dos últimos 3 anos e elementos de identificação do proprietário. Muitas vezes existe escassez deste tipo de documentação, mas mesmo possuindo estes elementos é necessária uma visita ao edifício, onde se devem levantar/verificar todos os elementos já referidos no Capítulo 2. Posteriormente, desenvolvem-se dois modelos de simulação dinâmica multizona, um que represente os consumos previstos do edifício (determinação do IEE_{pr}), considerando as condições da Tabela I.04 da portaria n.º 17 - A/2016, e outro que considere as soluções de referência enunciadas na Tabela I.07 da mesma portaria, mantendo inalteradas todas as demais características e soluções previstas no modelo anterior (determinação do IEE_{ref}). Para o efeito de certificação energética o modelo não é obrigado a ser calibrado com base nos resultados das medições/monitorizações dos consumos efetuados durante a auditoria energética.

Caso se pretenda efetuar um estudo económico, de reabilitação e de medidas de eficiência energética, a calibração do modelo tem um elevado potencial para se verificar o real comportamento energético do edifício. Para o efeito, é necessário o desenvolvimento de um terceiro modelo que seja calibrado com base nos consumos efetivos retirados do processo de avaliação dos documentos fornecidos e evidenciados, sendo este o primeiro a ser elaborado.

Nas seguintes secções são apresentadas as etapas necessárias para o desenvolvimento de um modelo de simulação multizona para um edifício de serviços existente, não descorando os requisitos supracitados. Uma vez que o programa de simulação de apoio ao desenvolvimento do caso de estudo é o *DesignBuilder*®, versão

4.6.0.015, será apresentada uma metodologia mais enquadrada com este, embora esta, não se afaste muito das metodologias associadas a outros programas de simulação. De referir que toda a metodologia apresentada no presente capítulo está de acordo com a terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, introduzida com a publicação do Decreto-Lei n.º 251/2015, uma vez que a republicação mais recente (na sequência da publicação do Decreto-Lei n.º 28/2016) entrou em vigor após o desenvolvimento do caso de estudo.

3.2 IMPLANTAÇÃO E DADOS CLIMÁTICOS

A primeira etapa a ser desenvolvida passa pela implantação do edifício tendo em consideração a sua localização geográfica e a orientação das fachadas. Terá de ser considerada, também, a cota de implantação do edifício em relação ao nível médio das águas do mar, bem como dar algum destaque aos edifícios ou elementos envolventes que provoquem sombreamentos.

Depois de se proceder à implantação do edifício no programa segue-se a construção do modelo de simulação, sendo necessário incorporar toda a informação recolhida no modelo, para este proceder à determinação das necessidades térmicas e energéticas. Antes de proceder à determinação das necessidades do edifício é essencial a obtenção do ficheiro climático representativo do local onde se encontra o edifício, uma vez que as condições climatéricas têm um elevado impacto no desempenho energético do objeto em estudo. Conforme o regulamento, este deve ser obtido através da ferramenta desenvolvida pelo LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia), o “CLIMAS-SCE – *Software* para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios” [13], [32]. Nesta ferramenta de apoio é gerado um ficheiro de dados climáticos (ficheiro EPW), com base na seleção do município e da altitude a que o edifício se encontra e, assim, obtém-se uma referência horária do clima do local, uma zona climática de verão e inverno e os seus parâmetros climáticos.

3.3 LEVANTAMENTO DIMENSIONAL E PARÂMETROS TÉRMICOS

Após a visita ao edifício organizou-se a informação recolhida no local. Para isso, desenvolveram-se todas as plantas, com o auxílio da ferramenta *Autodesk® AutoCAD®*, onde se compilou a seguinte informação:

- levantamento dimensional e geométrico, da área útil de pavimento;
- identificação das zonas térmicas, espaços complementares e tipologias dos espaços;
- caracterização da envolvente;
- identificação das soluções construtivas, com os cálculos dos parâmetros térmicos;
- definição do zonamento térmico a ser aplicado no modelo de simulação dinâmica;
- caracterização dos perfis de utilização dos espaços;
- caracterização do sistema de iluminação, de climatização, de ventilação, de preparação de AQS e dos equipamentos instalados.

A organização de todos estes elementos possibilita uma análise facilitada do edifício permitindo uma maior rapidez na construção do modelo de simulação dinâmica.

Por conseguinte, no âmbito do levantamento dimensional devem ser definidas as dimensões, pelo interior, de cada espaço do edifício, área e pé-direito, definindo-se o volume de estudo para o cálculo das necessidades energéticas. A envolvente pode ser designada por interior e exterior. Dentro destes dois tipos de envolvente, existe a envolvente opaca, que é constituída pela cobertura, pelos pavimentos e pelas paredes, e a envolvente envidraçada, da qual fazem parte os vãos envidraçados. Quanto às portas que constituem um edifício, estas podem ser consideradas como envolvente opaca ou envidraçada. É possível considerar estas como um vão envidraçado, caso possuam uma área superior a 25% da sua área total, caso contrário, podem ser consideradas como envolvente opaca.

A caracterização das soluções construtivas também é bastante importante, uma vez que dependendo da sua constituição, esta poderá proporcionar uma maior ou menor resistência às transferências de calor. A determinação dos parâmetros térmicos das soluções construtivas possibilita a análise do desempenho das soluções instaladas, em que para a envolvente opaca se deve determinar o coeficiente de transmissão térmica (U) e o coeficiente de absorção da radiação solar (α). Para a determinação do U da solução construtiva, pode recorrer-se à Equação 3, onde R_{si} representa a resistência térmica superficial interior, R_j representa a resistência térmica da camada j e R_{se} representa a resistência térmica superficial exterior. As resistências superficiais podem ser obtidas mediante a Tabela 01 do Despacho n.º 15793 - K/2013 [33].

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \text{ [W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)]} \quad \text{Equação 3}$$

O valor do coeficiente de absorção da radiação solar (α), deve ser determinado com base na Tabela 08 do despacho supracitado, em função da cor do revestimento da superfície exterior do elemento construtivo, tomando os valores de 0,4; 0,5; 0,8; conforme apresentem uma cor clara, média ou escura, respetivamente [33].

Para os vãos envidraçados é necessário determinar o valor do fator solar do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes ou móveis, totalmente ativados (g_T), obedecendo à condição da Equação 4. No caso de a soma da área dos vãos envidraçados verticais ser superior a 30% da área da fachada onde se insere, deve obedecer-se à condição da Equação 5. Nestas equações F_o representa o fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, F_f representa o fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, $g_{T\text{ máx}}$ representa o fator solar global máximo admissível dos vãos envidraçados, A_{env} representa a soma das áreas dos vãos envidraçados do edifício, por orientação, e A_{eve} representa a área da envolvente vertical exterior do edifício, por orientação.

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{T\text{ máx}} \quad \text{Equação 4}$$

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{T\text{ máx}} \cdot \frac{0,30}{\left(\frac{A_{\text{env}}}{A_{\text{eve}}}\right)} \quad \text{Equação 5}$$

Na envolvente dos edifícios, as soluções construtivas apresentam elementos de ligação e descontinuidades onde geralmente ocorrem maiores taxas de transferência de calor, sendo estes locais definidos como pontes térmicas planas (PTP) e pontes térmicas lineares (PTL). Nestes locais existe a concentração de fluxos de calor, que poderão potenciar a ocorrência de condensações superficiais e a manifestação de patologias, sendo necessário uma minuciosa avaliação, promovendo o isolamento, uma correta ventilação e climatização dos espaços. O disposto no pacote legislativo remete para quatro possibilidades de determinação do valor do coeficiente de transmissão térmica linear (Ψ_i), sendo elas:

- o recurso a normas europeias em vigor, nomeadamente à Norma EN ISO 10211 [33];
- o recurso a catálogos de pontes térmicas para várias geometrias e soluções construtivas, desde que o cálculo tenha sido efetuado de acordo com a Norma

Europeia EN ISO 14683 com recurso à metodologia definida na EN ISO 10211, como por exemplo o catálogo online de PTL [33], [34];

- o recurso à Tabela 07 do despacho n.º 15793-K/2013 [33];
- recorrendo às regras de simplificação apresentadas na Tabela 03 do despacho n.º 15793-E/2013 para o caso de edifícios existentes [33].

Caso não seja possível a determinação e caracterização das pontes térmicas é possível considerar as PTL mediante a majoração global das necessidades de aquecimento do edifício em 5%, e considerar as PTP mediante a majoração do U das paredes exteriores do edifício em 35% [13].

O zonamento térmico de um edifício representa a agregação de espaços adjacentes que possuam similaridades nos seus perfis de utilização, iluminação, equipamentos, ventilação mecânica e de climatização, e na sua orientação solar, podendo-se, por isso, considerar que estão em equilíbrio térmico e assim, facilitar todas as iterações necessárias à determinação das suas necessidades de aquecimento e arrefecimento [4]. Estas similaridades são importantes de modo a ser possível simplificar o modelo, considerando um conjunto de espaços como se fossem apenas um. Para se definir o zonamento térmico é importante perceber os conceitos de zona térmica e de espaço complementar. Segundo a pergunta P1 das Perguntas & Respostas disponibilizadas pela ADENE, os espaços complementares podem ser “Espaços Tipo A” ou “Espaços Tipo B”, onde para serem considerados “Espaços Tipo A” devem ter uma “ocupação permanente (ocupação igual ou superior a 2h/dia)” ou devem dispor de “sistema de climatização de aquecimento ou arrefecimento para conforto térmico de forma direta, ou indireta através de ar transitado”. A título de exemplo de espaços tratados de forma indireta, poderão ser consideradas cozinhas, circulações interiores, arrumos, lavandarias, entre outros. Para serem considerados “Espaços do Tipo B” não podem ter ocupação permanente nem podem ter sistema de aquecimento ou arrefecimento para conforto térmico, como por exemplo os armazéns frigoríficos, os arquivos e os centros de armazenamento de dados. Para além disso, nas situações em que os “Espaços do Tipo A” não possuam sistemas de climatização, e para efeito de determinação do desempenho energético, os espaços devem assumir-se como climatizados pelos equipamentos de referência, e para os espaços que não se encontrem enquadrados como “Espaços Tipo A”, estes devem ser considerados “Espaços Tipo B” [11].

Para edifícios existentes, o despacho n.º 15793-E/2013 apresenta algumas regras de simplificação importantíssimas, à determinação de certos parâmetros para o qual o

recurso a metodologias detalhadas tornaria o processo bastante difícil. Estas simplificações, apesar de poderem ter algum impacto nos resultados finais, são essenciais em algumas situações, para que se consiga construir o modelo energético.

3.4 AUDITORIA ENERGÉTICA

Como referido no Capítulo 2, para a realização de uma auditoria energética é necessário identificar os diferentes tipos de energia utilizada, analisar as faturas energéticas, monitorizar os potenciais consumidores de energia e identificar a suas eficiências. Este procedimento, possibilita a verificação dos perfis de utilização e dos consumos típicos do edifício, a apresentação de um PRE com os indicadores de eficiência energética, as oportunidades de racionalização de recursos energéticos e ainda a sensibilização para eventuais desperdícios de ocorrentes da má utilização dos recursos.

Uma extensa análise de dados está inerente às avaliações efetuadas ao edifício, onde se pretende obter uma desagregação dos principais consumidores de energia do edifício, e assim, averiguar qual a potencialidade que existe de eficiência energética e racionalização de recursos. Para o caso de estudo efetuaram-se várias medições, destacando-se as medições pontuais com o recurso a analisadores de energia, monitorizações contínuas de circuitos elétricos e equipamentos, e a análise dos gases de combustão. No que se refere à QAI não foram efetuadas nenhuma medições de poluentes, tendo-se procedido apenas à medição de caudais.

3.5 CALIBRAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO DINÂMICA

Embora o pacote legislativo nada referir acerca da calibração do modelo e quais as percentagens admissíveis de desvios aos valores reais, caso se pretenda desenvolver um estudo técnico-económico, é de extrema importância a calibração do modelo energético, sendo recomendável que exista uma coerência entre os resultados obtidos da auditoria energética, da desagregação dos consumos e do modelo de simulação. Posto isto, para se efetuar uma análise credível e de averiguação do impacto de medidas de eficiência energética, cabe ao projetista definir um valor coerente e aceitável de discrepância dos resultados da simulação dinâmica, tentando garantir a confiança e fiabilidade da sua simulação dinâmica. A quantificação da precisão admissível para o modelo é difícil e varia

com a complexidade do edifício [18]. Kaplan considera que a comparação entre os consumos faturados e os resultados obtidos dos modelos são aceitáveis para desvios de 10% numa base anual, e de 25% numa base mensal para a análise do desempenho energético. No que se refere às estimativas de poupanças da implementação de medidas de melhoria, Kaplan não atribui nenhum desvio aceitável [18].

Contudo, o processo de calibração é complexo, pois devido aos inúmeros parâmetros que influenciam o desempenho térmico do edifício, existe a necessidade de implementar uma análise de sensibilidade. Nesta análise, deve-se recorrer ao constatado no local e às evidências recolhidas e analisadas, de modo a se conseguir validar o mesmo. O processo de calibração pode entender-se como um método iterativo onde a sensibilidade e experiência do projetista, o levaram a entender os parâmetros que mais contribuem para os resultados obtidos e sobre estes, analisar a sua veracidade, reformulando-os se necessário. Este processo, permite por si só, analisar o comportamento do edifício, apresentando a vantagem de identificar pontos onde se deverá intervir no âmbito de uma racionalização energética. Os resultados do processo de calibração são proporcionais ao nível de detalhe que o modelo de simulação apresenta, onde a aplicação de muitas simplificações pode ter um elevado impacto nos resultados obtidos [19].

3.6 DEFINIÇÃO DO EDIFÍCIO DE REFERÊNCIA

Para a determinação da classe de eficiência energética do edifício, torna-se indispensável a comparação entre o edifício previsto e o edifício de referência. Depois da execução do modelo de simulação previsto, utiliza-se uma cópia do mesmo, onde se mantêm todas as demais características e soluções não especificadas em seguida. O modelo de simulação de referência apresentará soluções e parâmetros de referência ao nível da envolvente, do sistema de aquecimento e arrefecimento ambiente, da ventilação, da preparação das águas quentes sanitárias e de piscinas (se aplicável) e do sistema de iluminação [13].

No que diz respeito à envolvente, no modelo de referência devem-se considerar as seguintes soluções:

- Os coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos são obtidos segundo a Tabela 4, recorrendo à “alteração da espessura do isolamento previsto na solução construtiva, sendo que, no caso de não estar

previsto isolamento, a solução de referência deverá considerar a aplicação desse isolamento ou uma outra solução construtiva, desde que em ambos os casos se mantenha a inércia do edifício” [13];

- “Os coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência para envidraçados”, obtidos na Tabela 4 [13];
- Quando a área de vão envidraçado no edifício for superior a 30% da área de fachada, deve-se considerar, no modelo de referência, a sua redução para 30% e que as coberturas não têm vãos envidraçados. Nas situações em que o edifício tenha uma área de vãos envidraçados inferior a 30%, no modelo de referência, pode-se manter esta área ou aumentá-la até perfazer os 30% [13];
- Os fatores solares dos vãos envidraçados de referência são obtidos segundo a Tabela 5 [13];
- O coeficiente de absorção da radiação solar da envolvente opaca deve ser $\alpha = 0,4$ [13].

Tabela 4 – Coeficientes de transmissão térmica de referência de elementos da envolvente no âmbito do RECS [W/(m².°C)] (adaptado de [13]).

PORTUGAL CONTINENTAL			
ZONA CORRENTE DA ENVOLVENTE	ZONA CLIMÁTICA		
	I1	I2	I3
Elementos opacos verticais exteriores ou interiores	0,70	0,60	0,50
Elementos opacos horizontais exteriores ou interiores	0,50	0,45	0,40
Vãos envidraçados exteriores (portas e janelas)	4,30	3,30	3,30

Tabela 5 – Fator solar dos vãos envidraçados de referência no âmbito do RECS (adaptado de [13]).

	ZONA CLIMÁTICA		
	V1	V2	V3
Fator solar do vão (sem dispositivos de sombreamento)	0,25	0,20	0,15

No que diz respeito ao sistema de aquecimento e/ou arrefecimento ambiente, no modelo de referência devem-se considerar as seguintes situações: ⁽¹⁾

- “No caso de produção de aquecimento com recurso a bomba de calor, considerar bomba de calor do tipo *chiller* de compressão com permuta exterior a ar, com o valor da eficiência igual ao limite inferior da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.17” da portaria n.º 17-A/2016 (*outros sistemas*) [13];
- “No caso de produção de aquecimento com recurso a caldeira, considerar o valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção igual ao limite inferior da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.19” da portaria n.º 17-A/2016 [13];
- “No caso de produção de arrefecimento, considerar *chiller* de compressão com permuta exterior a ar, com o valor da eficiência igual ao limite inferior da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.17” da portaria n.º 17-A/2016 (*outros sistemas*) [13];
- “Nas situações em que se preveja ou disponha de um sistema solar térmico, considerar que as necessidades de energia afetas a esse sistema são supridas pelo equipamento de apoio do mesmo ou, na ausência deste último, conforme previsto no ponto seguinte” [13];
- “Caso não exista ou não esteja previsto instalar uma ou ambas as funções (aquecimento e arrefecimento), considerar que o edifício dispõe de sistema para essa(s) função(ões), aplicando-se” as soluções assinaladas com a expressão (*outros sistemas*), enunciadas anteriormente, para a função não existente ou não prevista [13];
- “No caso de um edifício híbrido ou passivo, que disponha de sistema(s) de climatização, a temperatura interior deve considerar-se compreendida no intervalo de 20 °C a 25 °C, inclusive” [13];
- Considerar a “ausência de sistemas de arrefecimento gratuito, de recuperação de calor, de caudal variável ou outras soluções de eficiência energética na climatização” [13].

⁽¹⁾ Na situação em que o IEE_{Ref} serve de comparação ao IEE_{pr}, quando os sistemas técnicos não se enquadrarem nos tipos de soluções de referência, o cálculo do IEE_{Ref} deve considerar as soluções aí assinaladas com a expressão “(*outros sistemas*)”;

No que diz respeito à ventilação, no modelo de referência devem-se considerar as seguintes situações:

- “Considerar os valores de caudal de ar novo por espaço determinados pelo método prescritivo e utilização de um sistema de ventilação exclusivamente mecânico, com uma eficácia de ventilação de 0,8” [13];
- “Caso estejam instalados ou prevista a instalação de ventiladores de extração e de insuflação associados à ventilação das áreas climatizadas ou a unidades de tratamento de ar (UTA e UTAN), considerar valores de eficiência (potência específica, SPF) iguais ao limite inferior da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.21” da portaria n.º 17-A/2016 [13];
- “No caso de espaços com a existência predominante (mais de 75%) de materiais de baixa emissão poluente, o caudal de referência deve ser o correspondente à situação do edifício sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos” [13];
- Considerar a “ausência de sistemas de arrefecimento gratuito, de recuperação de calor, de caudal de ar variável ou outras soluções de eficiência energética na climatização” [13].

No que diz respeito às águas quentes sanitárias e de piscinas, no modelo de referência devem-se considerar as seguintes situações:

- “No caso de sistemas com recurso a equipamentos de queima de combustível, o valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção igual ao limite inferior da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável para caldeira(s) e definido na Tabela I.19” da portaria n.º 17-A/2016 (*outros sistemas*) [13];
- “Nas situações em que se preveja ou disponha de um sistema solar térmico, considerar que as necessidades de energia afetas a esse sistema são supridas pelo equipamento de apoio do mesmo ou, na ausência deste último, conforme previsto no ponto anterior” [13];
- “No caso de sistemas com recurso a bomba(s) de calor, considerar um valor de COP = 2,8 de acordo com a EN 16147” [13];
- “No caso de sistemas com recurso a termoacumulador elétrico, considerar um valor de eficiência igual” a $\eta = 0,95$ [13];
- Considerar a “ausência de sistemas de recuperação de calor, de caudal variável ou outras soluções de eficiência energética na AQS” [13].

No que diz respeito à iluminação, no modelo de referência devem-se considerar as seguintes situações:

- “Densidade de potência de iluminação (DPI) correspondente ao requisito mínimo aplicável, sem sistemas de controlo por ocupação ou por disponibilidade de luz natural” apresentados na Tabela 6 [13];
- “Caso estejam previstos (em edifícios novos) níveis de iluminância inferiores aos estabelecidos na Norma EN 12464-1, esses valores deverão ser considerados para o cálculo dos valores de densidade de potência de iluminação de referência” [13];
- Considerar a “ausência de sistemas de controlo da iluminação em função da ocupação, da luz natural ou outras soluções de eficiência energética na iluminação” [13];

Tabela 6 – Valores de referência da densidade de potência de iluminação (DPI)
(adaptado de [13]).

TIPO DE ESPAÇO SEGUNDO A FUNÇÃO	DPI [(W/m ²)/100lux]
Escritório com mais de 6 pessoas, salas de desenho	2,1
Escritório individual 1-6 pessoas	2,4
Show room e salas de exposição, museus	2,4
Salas de aula, salas de leitura, bibliotecas, salas de trabalho de apoio, salas de reuniões/conferências/auditórios	2,4
Laboratórios, salas de exames/tratamento ⁽²⁾ , blocos operatórios ⁽²⁾	2,4
Salas de pré e pós-operatório	3,4
Cozinhas, armazéns, arquivos, polidesportivos/ginásios e similares ⁽³⁾ , salas técnicas (centros de dados, fotocópias e similares), parques de estacionamento interiores	3,4
Plataformas de transportes e similares	3,4
Lojas de comércio e serviços, retalhistas em geral (zona de público), espaços fabris em geral	3,4
Hall/Entradas, corredores, escadas, salas de espera, instalações sanitárias, enfermarias e quartos individuais de clínicas e hospitais ⁽⁴⁾ , salas de refeições (exceto restaurantes)	3,8

⁽²⁾ O valor do DPI/100lux pode ser ajustado de acordo com necessidades especiais.

⁽³⁾ Excluem-se recintos desportivos em regime de alta competição.









⁽⁴⁾ Inclui a instalação de iluminação interior do quarto/enfermaria e WC, formada por iluminação geral, iluminação de leitura e iluminação para exames.

Por último, no que diz respeito às energias renováveis, no modelo de referência não deve ser considerada a sua existência [13].

3.7 DETERMINAÇÃO DA CLASSE ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO

Após o desenvolvimento do modelo dinâmico previsto, com a implementação de todos os parâmetros enunciados, e do modelo dinâmico de referência, tem de se proceder à obtenção dos indicadores de eficiência energética necessários para a aplicação da Equação 2. Prende-se como objetivo a apresentação do rácio de classe energética e a determinação da classe energética do edifício. O rácio de classe energética representa um valor do consumo energético anual do modelo previsto, face a um modelo com soluções de referência, correspondendo esse valor a uma dada classe energética, obtida mediante a Tabela 7.

Tabela 7 – Intervalos de valores do R_{IEE} para a determinação da classe energética (adaptado de [13]) [35].

CLASSE ENERGÉTICA	VALOR DE R_{IEE}
	$R_{IEE} \leq 0,25$
	$0,26 \leq R_{IEE} \leq 0,50$
	$0,51 \leq R_{IEE} \leq 0,75$
	$0,76 \leq R_{IEE} \leq 1,00$
	$1,01 \leq R_{IEE} \leq 1,50$
	$1,51 \leq R_{IEE} \leq 2,00$
	$2,01 \leq R_{IEE} \leq 2,50$
	$R_{IEE} \geq 2,51$

Para os edifícios de serviços existe a possibilidade de se enquadrarem em oito classes energéticas diferentes, sendo elas A⁺, A, B, B⁻, C, D, E e F. A classe A⁺ indica que o edifício tem um melhor desempenho energético, diminuindo esse desempenho, até à pior classificação, de F [35].

3.8 ANÁLISE DE MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICA

Como referido no Capítulo 2, a reabilitação energética tem como intuito a racionalização de energia e a aplicação de medidas sustentáveis que beneficiem a redução da utilização dos recursos energéticos. As medidas de eficiência energética são de implementação obrigatória caso os edifícios não estejam em conformidade com os limiares de classe energética para o qual estão enquadrados, no âmbito do RECS. Para além disso, o papel na certificação energética neste tipo de medidas foca-se na sensibilização e informação do requerente para o potencial de melhoria do edifício.

Muitas vezes pensa-se que a substituição dos equipamentos é a melhor abordagem para tornar um edifício mais eficiente, mas existem outras maneiras de racionalização energética, como a mudança dos hábitos de utilização e a sensibilização para vários comportamentos humanos.

A implementação de sistemas com recurso a fontes de energia renováveis vai de encontro à estratégia energética nacional, contribuindo para uma menor dependência energética. Posto isto, no caso de estudo será avaliada a implementação de sistemas solares térmicos e de painéis fotovoltaicos. Para se desenvolver a análise destes dois sistemas de aproveitamento de energia renovável torna-se necessário o cálculo da energia produzida pelo tipo de sistema/técnica utilizado. Para o efeito recorreu-se à ferramenta denominada de SCE.ER, desenvolvida pelo DGEG.

A evolução da eficiência dos sistemas de iluminação tem permitido obter a mesma qualidade de iluminação com um menor consumo elétrico. A tecnologia LED (*Light Emitting Diode*) é um exemplo desse tipo de sistemas, apresentando um elevado rendimento luminoso e potencial de melhoria quando comparado com outros sistemas de iluminação, principalmente os que utilizam lâmpadas incandescentes, de vapor de sódio e de mercúrio.

Os sistemas consumidores de energia devem sempre ser verificados quanto à sua eficiência, uma vez que poderão ser alvos de melhoria. A análise das perdas de calor que ocorrem pela envolvente dos edifícios também são potenciais alvos de melhoria, analisando-se o impacto na redução das necessidades térmicas ambientes.

Após a identificação das potenciais medidas de racionalização energética é necessário avaliá-las, em termos do impacto no desempenho energético e em termos económicos. Para analisar o impacto no desempenho energético, é necessário ter em consideração não apenas a redução do consumo energético, mas também a qualidade nas

condições de conforto dos ocupantes e a eficiência de sistemas sustentáveis. Já a análise económica das medidas propostas permite avaliar a rentabilidade do caso de estudo.

Para o estudo de viabilidade económica, vários indicadores poderão ser determinados. O primeiro indicador económico a ser analisado é o período de retorno simples (PRS), e como o próprio nome indica, este refere-se a um método simples de avaliação do risco de investimento de um projeto, pretendendo-se verificar quando tempo é necessário para repor o capital investido. Segundo a legislação em vigor, para os edifícios que se encontrem condicionados ao melhoramento do desempenho energético, as medidas de eficiência energética que apresentarem um PRS igual ou inferior a 8 anos, são de implementação obrigatória. Posto isto, este indicador só será determinado caso o edifício esteja condicionado ao melhoramento. Para a determinação do PRS recorre-se à Equação 6, onde C representa o valor correspondente à totalidade dos custos de investimento, e o valor de P representa o valor correspondente à poupança anual da aplicação da medida em estudo, considerando os custos de energia constantes e iguais aos do momento de investimento, e não considerando os efeitos da inflação e de custos financeiros [36].

$$PRS = \frac{C}{P} \text{ [anos]} \quad \text{Equação 6}$$

De modo a minimizar o risco de investimento, deve-se incorporar na análise desenvolvida a variação do valor temporal da moeda e dos custos energéticos e, para isso, serão analisados o período de retorno de capital (PRC), a taxa interna de rentabilidade (TIR) e o valor atualizado líquido (VAL).

O indicador PRC tem o mesmo objetivo que o PRS, embora este tenha em consideração o fluxo de caixa transferido para o valor atual da moeda, ou seja, entra com a influência de uma taxa de desconto, a taxa de juro. Para se determinar o PRC recorre-se a Equação 7, onde C_0 é o investimento inicial, $CF_{\text{atualizado}}$ é o fluxo de caixa atualizado e n o número de anos da análise.

$$PRC = \frac{C_0}{\frac{\sum CF_{\text{atualizado}}}{n}} \text{ [anos]} \quad \text{Equação 7}$$

A TIR também representa uma taxa de desconto, sendo a taxa que iguala as despesas do investimento aos retornos futuros do investimento, designando-se como taxa de retorno de um projeto. Para o projeto ser considerado rentável, este deve ser igual ou

superior à taxa de juro definida pelo investidor. A Equação 8 representa a TIR, ou seja, a taxa interna de rentabilidade que torna nulo o VAL do projeto.

$$\sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad \text{Equação 8}$$

Posto isto, o VAL representa o saldo final do investimento considerando uma taxa de juro descontada aos pagamentos futuros. Para a determinação do VAL recorre-se à Equação 9, onde o CF é o fluxo de caixa, ou seja, a diferença entre os ganhos e as despesas obtidos no projeto, o d é a taxa de juro para um dado período t e o N é o número de anos da análise.

$$VAL = \sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1 + d_t)^t} \text{ [€]} \quad \text{Equação 9}$$

Para se considerar um projeto viável deve-se obter um PRS ou um PRC menor que o tempo máximo aceite e definido pelo investidor, e o VAL tem de ser positivo. Na análise económica o valor da TIR deve ser maior que a taxa de desconto mínima exigida pelo investidor e o VAL deve ser positivo para se considerar o projeto rentável.

4 ANÁLISE ENERGÉTICA APOIADA POR SIMULAÇÃO DINÂMICA DE EDIFÍCIOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO EM ANÁLISE

O edifício em estudo representa um Complexo Escolar constituído pelas Escolas do primeiro, segundo e terceiro ciclos, localizada no distrito de Leiria. De acordo com a terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, o Complexo Escolar é um GES existente, uma vez que no seu conjunto possui uma área de pavimento interior útil superior a 1 000 m², já descontando os espaços complementares.

O Complexo Escolar é constituído por 4 corpos distintos, designadamente:

- **Bloco A** – com dois andares, é constituído fundamentalmente por salas de aulas do 1º ciclo, biblioteca e áreas administrativas e de apoio ao pessoal da escola, incluindo um bar;
- **Bloco C** – com dois andares, é constituído por salas de aulas para os 2º e 3º ciclos de escolaridade;
- **Bloco D** – com um piso, ocupado pelo refeitório da escola, respetiva cozinha e zona técnica das caldeiras;
- **Pavilhão** – com dois pisos, é constituído por receção, gabinete, ginásio, salão de jogos, zona técnica e balneários no piso principal (piso 0) e com bancada e sala de formação no piso superior.

Em cada um destes Blocos existem instalações sanitárias, arrumos e zonas de circulação internas. O Bloco C dispõe de elevador, praticamente sem qualquer utilização. Para além disso, o Complexo Escolar apresenta duas portarias, sendo que apenas uma se encontra em utilização.

4.1.1 LOCALIZAÇÃO, FICHEIRO CLIMÁTICO E ORIENTAÇÃO SOLAR

O edifício em causa pertence à NUTS III, designada Pinhal Interior Norte, a uma altitude de aproximadamente 454 m e está inscrito na zona climática I2-V2 (conforme metodologia estabelecida no Despacho n.º 15793 - F/2013). Para o local em questão a

estação de aquecimento tem um período de duração de 6,8 meses, com uma temperatura média de 7,8 °C, os graus-dia de 1704 °C, enquanto que para a estação de arrefecimento a sua temperatura média é de 21,0 °C. Esta informação foi obtida mediante o programa referido no Capítulo 3, estando representada na Figura 6 [32], [37].

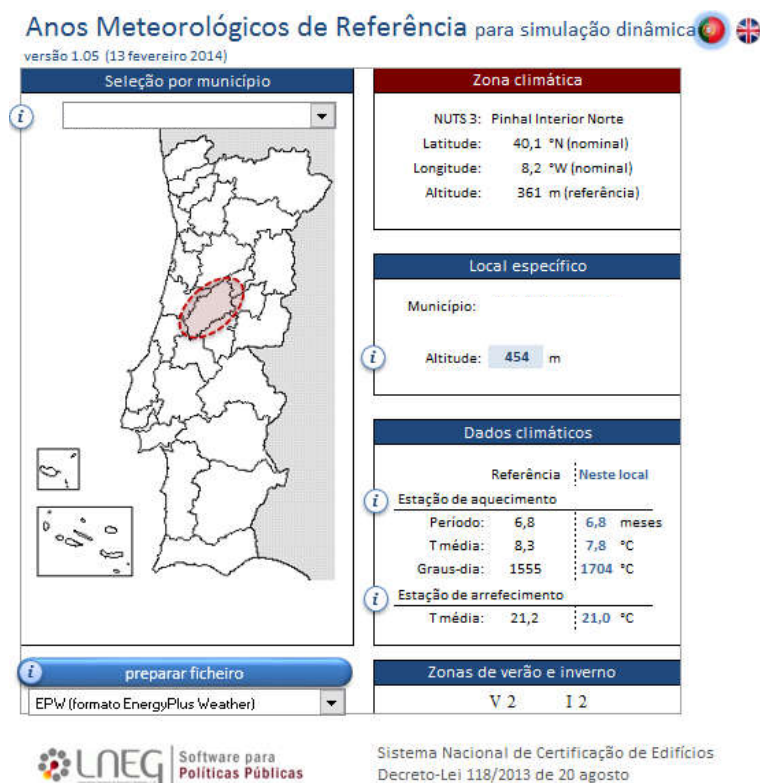


Figura 6 – Ficheiro Climático obtido mediante ferramenta do LNEG [32].

Cada um dos corpos que constituem o Complexo Escolar tem exposição solar distinta, conforme a sua orientação e influência da proximidade dos outros Blocos: no caso do Bloco A, a fachada mais exposta é a fachada a sul; no Bloco C predomina a fachada voltada a nascente; no Bloco D e no Pavilhão predominam as fachadas voltadas sensivelmente a poente. Na Figura 7 está representada, do lado esquerdo, uma vista aérea dos Blocos que constituem o Complexo Escolar, representando todo o terreno envolvente e a orientação geográfica e, do lado direito, a mesma representação, mas no modelo de simulação.

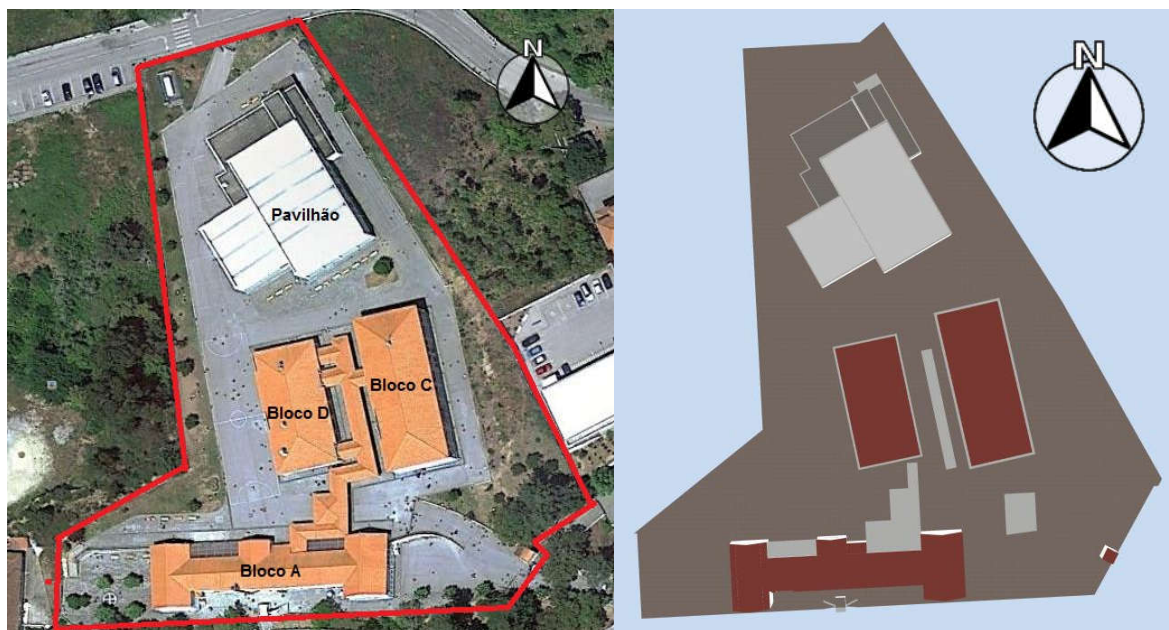


Figura 7 – Visão aérea e orientação geográfica do Complexo Escolar, imagem real (à esquerda, adaptado [38]) e imagem do modelo de simulação (à direita).

Todos estes elementos foram, rigorosamente, implementados no modelo de simulação dinâmica, criando um *template* climático para a localização em questão (Figura 8), e a distribuição/orientação de todos os Blocos foi implementada conforme estes se apresentam no local (Figura 7).

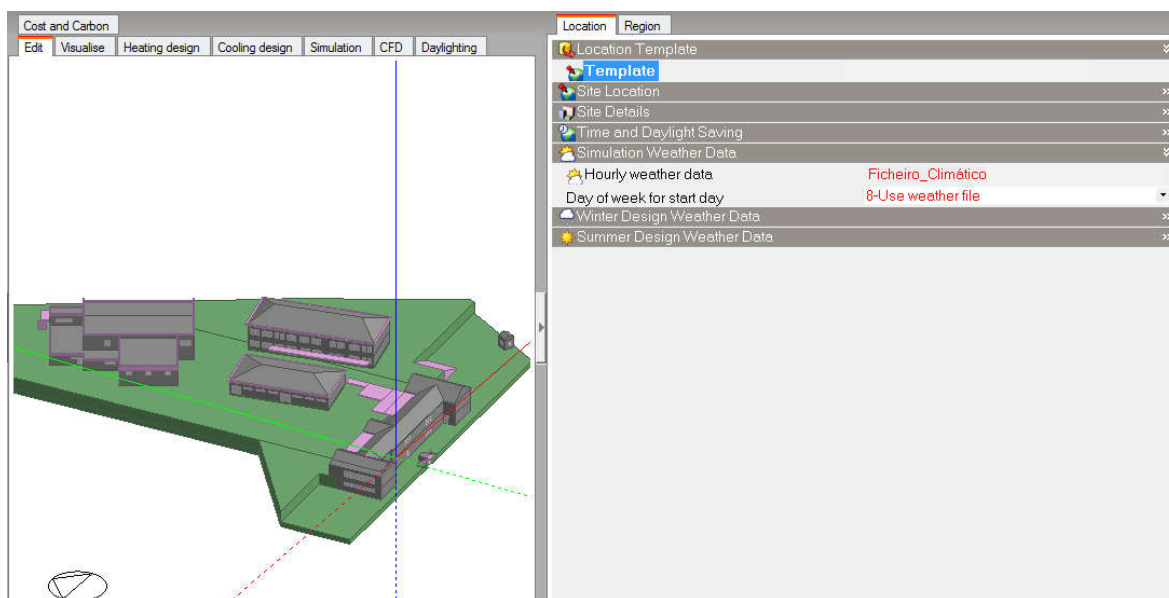


Figura 8 – Representação da incorporação do ficheiro climático no *DesignBuilder*®.

4.1.2 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Com o intuito de organizar a informação recolhida no local, foram desenvolvidos vários elementos de apoio, entre eles, as plantas necessárias de apoio ao caso de estudo (com os elementos descritos no Capítulo 3) e uma folha de cálculo para auxiliar a análise dos dados recolhidos. No Apêndice I são apresentadas as plantas e os elementos referentes ao levantamento dimensional.

A identificação das soluções construtivas, bem como a determinação dos respetivos parâmetros térmicos, reveste-se, em alguns casos, de alguma complexidade, em virtude da falta de informação existente e da impossibilidade de conhecer de forma fidedigna a constituição das mesmas. Deste modo, as possibilidades existentes para a sua determinação são o recurso:

- a peças escritas e desenhadas do projeto (desde que coerentes com a realidade);
- a medições *in-situ*, com vista à determinação da resistência térmica das soluções construtivas, segundo a norma ISO 9869 (termofluxímetro);
- a métodos destrutivos da envolvente (possibilidade em maioria dos casos inviável);
- às soluções apresentadas nas Informações Técnicas de Edifícios (ITE) do LNEC, nomeadamente ITE 50 e ITE 54;
- a outras fontes reconhecidas pelo SCE;
- e aos “Valores por Defeito” (Anexo II do ITE 54) [39]–[42].

Neste contexto, uma vez que não foi possível a obtenção de elementos de projeto com a informação da constituição da envolvente, consideraram-se as simplificações previstas no Despacho n.º 15793 - E/2013, tendo os coeficientes de transmissão térmica sido determinados com recurso às publicações do LNEC, enunciadas anteriormente.

Considerou-se que o Bloco A será de construção anterior a 1960, face à sua semelhança com outras escolas construídas na época. Nos restantes Blocos, de construção mais recente, considerou-se que serão de data posterior a 1960. Alguns dos elementos da envolvente destes Blocos, sobretudo C e D, poderão dispor de isolamento térmico, no entanto, dada a ausência de qualquer evidência que permita confirmar esta hipótese, esses isolamentos não foram considerados neste processo.

Assim, no Apêndice II é apresentada a marcação das envolventes dos diferentes corpos, e no Apêndice III são descritos todos os pressupostos e soluções adotadas para as soluções da envolvente opaca exterior, conforme as evidências obtidas no local. De

maneira mais condensada, são apresentados na Tabela 8 os valores obtidos para os parâmetros térmicos de cada solução da envolvente opaca exterior.

Tabela 8 – Valores dos parâmetros térmicos das soluções da envolvente exterior opaca.

ENVOLVENTE OPACA EXTERIOR				
BLOCO	SOLUÇÃO CONSTRUTIVA	ÁREA TOTAL [m²]	U [W/(m².°C)]	α
Bloco A	PDE1	435,90	1,86	0,40
	PDE2	22,70	1,70	
	PDE3	26,80	1,70	
	PDE4	32,60	2,20	
	PDE5	6,00	2,20	
	PDE6	52,10	1,30	
	PDE7	47,00	2,09	
	PAR SOLO 1	50,80	0,80	
	PAR SOLO 2	124,40	0,80	
	PAR SOLO 3	19,00	0,80	
	PAV SOLO	482,00	0,60	
	CBE1	10,30	3,40	
	CBI1	504,50	2,25	
Bloco C	PDE1	515,10	0,96	0,40
	PAV SOLO	483,60	1,00	
	CBI1	481,00	2,25	
Bloco D	PDE1	144,70	0,96	0,40
	PDI1	45,30	1,49	
	PAV SOLO	291,60	1,00	
	CBI1	291,60	2,25	
Pavilhão	PDE1	698,70	0,96	0,40
	PDI1	15,82	1,78	
	PAV SOLO	1 097,50	1,00	
	CBE1	790,10	7,14	
	CBE2	307,40	2,60	
Portaria 1	PDE1	7,10	1,43	0,40
	PAR SOLO	8,90	1,50	
	PAV SOLO	4,10	0,60	
	CBE1	4,10	2,60	
Portaria 2	PDE1	19,90	1,40	0,40
	PAV SOLO	6,80	1,00	
	CBI1	6,80	2,25	

O levantamento efetuado no local, para os elementos da envolvente envidraçada, possibilitou a sua caracterização, tendo sido adotada a metodologia apresentada no Apêndice III para a determinação dos fatores solares e dos coeficientes de transmissão térmica destes elementos. De forma condensada, na Tabela 9, são apresentados todos os parâmetros necessários à caracterização da envolvente envidraçada. Para além disso, nos modelos de simulação, foi definido que quando os vãos envidraçados são constituídos com dispositivos de sombreamento móvel, estes são ativadas sempre que a radiação incidente na fachada exceda os 300 W/m². Esta limitação da radiação solar prevista na regulamentação em vigor está representada na Figura 9. Para além disso, este separador do programa de simulação demonstra a incorporação dos vãos envidraçados e dos dispositivos de sombreamento.

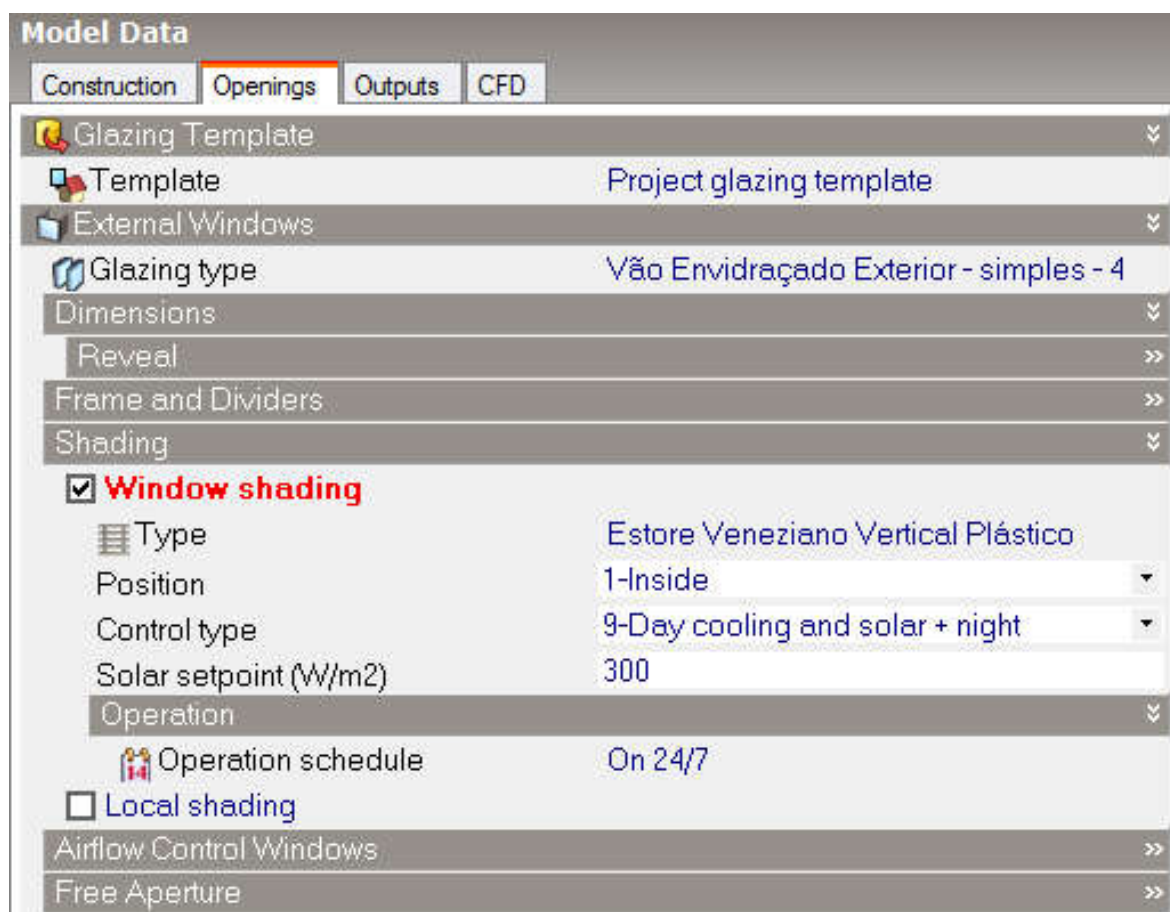


Figura 9 – Representação da incorporação dos vãos envidraçados, dos dispositivos de sombreamento e da limitação de radiação solar no *DesignBuilder*®.

Tabela 9 – Valores dos parâmetros que caracterizam a envolvente envidraçada.

ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA					
BLOCO	TIPO	ÁREA TOTAL [m ²]	U _w [W/(m ² .°C)]	FATOR SOLAR VIDRO	GLOBAL
Bloco A	EVE1	54,50	4,10	0,78	0,49
	EVE2	64,42	4,20		0,49
	EVE3	19,07	4,10		0,78
	EVE4	0,77	4,20		0,78
	EVE5	5,10	4,10		0,40
	EVE6	10,90	3,74		0,78
	EVE7	0,89	3,74		0,49
	EVE8	1,55	4,20		0,40
Bloco C	EVE1	34,37	4,10	0,78	0,04
	EVE2	94,36	4,20		0,04
	EVE3	12,69	4,10		0,78
	EVE4	1,96	3,74		0,04
	EVE5	11,95	3,74		0,78
Bloco D	EVE1	4,12	4,10	0,78	0,04
	EVE2	12,90	4,20		0,04
	EVE3	0,98	3,74		0,04
	EVE4	15,96	4,10		0,78
	EVE5	10,68	3,74		0,78
Pavilhão	EVE1	13,63	6,20	0,88	0,88
	EVE2	30,86	6,00		0,88
	EVE3	0,86	6,20		0,41
	EVE4	2,05	6,00		0,41
Portaria 1	EVE1	1,39	4,10	0,78	0,78
	EVE2	1,79	3,90		0,78
Portaria 2	EVE1	1,32	6,50	0,88	0,88
	EVE2	1,32	6,00		0,88
	EVE3	2,56	6,20		0,88

No que toca às soluções construtivas, importa ainda referir que a inércia térmica do Complexo Escolar foi considerada média, em função do que foi possível constatar no local e nos termos das regras de simplificação do Despacho n.º 15793-E/2013.

Relativamente às PTP e PTL, e uma vez que estas não se encontravam devidamente identificadas e caracterizadas, recorreu-se às regras de simplificação com vista à sua contabilização. Assim, as PTP foram contabilizadas mediante majoração, em 35%, do valor do coeficiente de transmissão térmica da secção corrente das paredes exteriores do Complexo Escolar, e as PTL foram consideradas mediante a majoração global, em 5%, das necessidades de aquecimento do Complexo Escolar [39].

No modelo de simulação, depois do desenvolvimento da arquitetura, da implantação e do ficheiro climático ajustaram-se as áreas de pavimento interior útil de cada espaço, mediante a alteração da espessura das paredes internas. Com isso, obtiveram-se espaços do modelo bastante representativos dos espaços reais, com desvios relativos inferiores a 3%, podendo-se verificar esse facto com o recurso à Tabela 55 do Apêndice I. Só após este ajuste é possível a incorporação das soluções construtivas no modelo, para estas não serem desconfiguradas.

Na Figura 10 estão representadas, por números, várias janelas importantes para o desenvolvimento de uma solução construtiva no programa de simulação, sendo neste caso apresentado o exemplo da cobertura exterior 1 (CBE1) da Portaria 1.

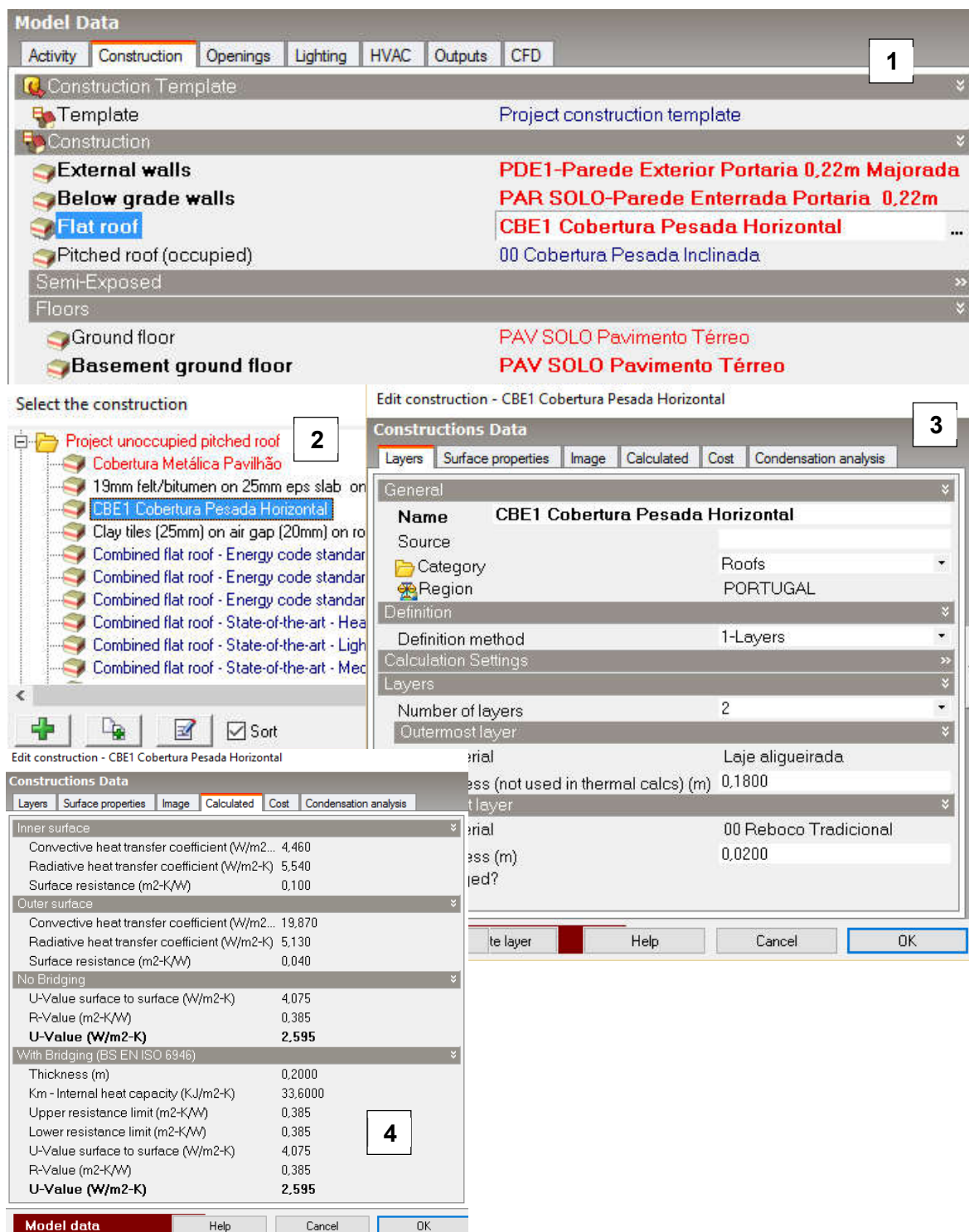


Figura 10 – Exemplo do desenvolvimento de uma solução construtiva no *DesignBuilder*®.

4.1.3 SISTEMAS CONSUMIDORES DE ENERGIA

No Complexo Escolar o tipo de energia consumida é a elétrica e o gás propano. Para o fornecimento de gás propano, este possui um depósito que é abastecido

periodicamente por um fornecedor, enquanto que para o fornecimento de eletricidade, este possui um contrato de energia elétrica de baixa tensão (400V).

O consumo de gás propano está associado à produção de energia térmica para aquecimento ambiente, que é assegurada por duas caldeiras de gás propano, à produção das refeições no Bloco D e à preparação das AQS do Pavilhão e do Bloco D, que é feita por duas caldeiras e um esquentador de gás propano, respetivamente.

O consumo de energia elétrica está inerente a todos os restantes sistemas técnicos do Complexo Escolar, onde se destacam a iluminação, os equipamentos informáticos, o elevador, os sistemas de bombagem de água, a ventilação mecânica, a climatização do servidor, os equipamentos e a produção de AQS no bar, entre outros.

No que se refere ao sistema de iluminação para o Complexo Escolar, este é principalmente constituído por lâmpadas fluorescentes tubulares T8, existindo alguns espaços que contêm lâmpadas fluorescentes compactas e incandescentes. No Pavilhão também existem luminárias com lâmpadas de iodetos metálicos, e a iluminação exterior é constituída por postes que possuem lâmpadas de iodetos metálicos, luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares T8 e fluorescentes compactas. No Apêndice IV são apresentadas os resultados do levantamento efetuado aquando a visita ao local, do tipo de luminárias e da potência instalada para cada espaço do Complexo Escolar. No total existem, 398 luminárias interiores e 48 luminárias de iluminação exterior.

Uma vez que se trata de um estabelecimento de ensino, é normal a utilização de muitos equipamentos, sendo que na maioria das salas de aula se encontram instalados computadores e projetores. No que compete ao Bar do Bloco A e à cozinha do Bloco D, estes apresentam alguns equipamentos elétricos de confeção alimentar, e para este último, também apresenta equipamentos que consomem gás propano. Em praticamente todas as salas de aulas, durante a estação de aquecimento, estão instalados aquecedores elétricos portáteis utilizados no momento em que o sistema de aquecimento central é desligado. No Apêndice V são apresentados detalhadamente os resultados do levantamento das características dos equipamentos instalados, efetuado aquando a visita ao local.

Para a incorporação destes sistemas no programa de simulação é necessário verificar o valor das potências instaladas pelo valor de área que servem. Na Tabela 10 encontram-se as densidades de potência da iluminação e dos equipamentos. De notar, que na tabela enunciada, os Equipamentos 1 referem-se aos computadores, os Equipamentos 2 referem-se aos equipamentos de escritório e aquecedores portáteis e os

Equipamentos 3 referem-se aos equipamentos elétricos do bar do Bloco A e da cozinha do Bloco D.

Tabela 10 – Valores de densidade de potência de iluminação e dos equipamentos correspondente a cada zona térmica.

DENSIDADE DE POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO E DOS EQUIPAMENTOS						
Bloco	Zona	Designação Espaço	Iluminação [W/m²]	Equipamentos [W/m²]		
				1	2	3
Bloco A	Z01	Instalações Sanitárias	6,308	83,63	-	-
	Z02	Arquivo BE	8,879	-	-	-
	Z03	Sala de Pessoal	8,856	46,91	118,12	-
	Z04	Cozinha	5,507	874,28	-	-
	Z05	UEEA	20,482	33,96	67,91	-
	Z06	Corredor	5,210	1,62	-	-
	Z07	Servidor	8,525	44,54	-	-
	Z08	Concelho Executivo	9,964	16,78	49,55	-
	Z09	CAF	14,061	8,03	43,72	-
	Z10	Arrumo	6,584	-	-	-
	Z11	Biblioteca	10,339	20,05	38,57	-
	Z12	Bar	8,893	32,78	-	286,58
	Z13	Sala de aulas 1.0	16,345	7,68	-	-
	Z14	Corredor Central	7,617	-	-	-
	Z15	Sala Professores	11,705	106,61	-	-
	Z16	Reprografia/Papelaria	13,264	51,37	-	-
	Z17	Salas de Aulas 1.1	11,980	10,47	34,91	-
	Z18	Corredor Lateral	22,359	-	-	-
	Z19	Sala de Aulas 1.3	11,400	9,58	37,80	-
	Z20	Sala de Aulas 1.2	9,226	7,95	30,59	-
Bloco C	Z01	Hall	13,690	8,18	14,19	-
	Z02	Elevador	9,340	1 474,06	-	-
	Z03	Salas EB1	20,729	22,32	36,33	-
	Z04	Salas Ciência	22,909	4,50	-	-
	Z05	Corredor	8,387	-	-	-
	Z06	Sala EVT	27,114	48,52	-	-
	Z07	Salas 1º Piso	22,857	9,42	-	-
	Z08	Sala música	20,136	9,95	-	-
	Z09	Gabinete	14,228	30,40	-	-

DENSIDADE DE POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO E DOS EQUIPAMENTOS						
Bloco	Zona	Designação Espaço	Iluminação [W/m²]	Equipamentos [W/m²]		
				1	2	3
Bloco D	Z01	Cozinha	14,384	2,27	-	5,45
	Z02	Refeitório	7,642	0,63	-	-
	Z03	Caldeira	12,564	-	-	-
	Z04	I.S. refeitório	8,900	-	-	-
Pavilhão	Z01	Corredor	8,314	0,09	15,46	-
	Z02	Sala professores	15,147	7,22	54,88	-
	Z03	Pavilhão	17,161	0,88	-	-
	Z04	Balneários	14,965	17,77	-	-
	Z05	Zonas Técnicas	9,225	-	-	-
	Z06	Sala de Formação	12,737	-	-	-
Portaria 1	Z01	Portaria 1	3,923	35,89	215,31	-
Portaria 2	Z01	Portaria 2	6,872	-	-	-

A iluminação exterior foi incorporada no modelo de simulação, e está representada na Tabela 61 do Apêndice IV, perfazendo um total de 3 146 W.

Com o intuito de esclarecer o método de aplicação destes sistemas no *DesignBuilder®*, é apresentada a Figura 11 que demonstra a aplicação da densidade de potência de iluminação e a Figura 12 que demonstra a aplicação da densidade de potência correspondente aos ganhos térmicos dos equipamentos instalados, ambas para a zona térmica da Portaria 1. Para cada um dos sistemas é necessário representar os vários efeitos da transferência de calor, definindo-se principalmente a fração radiativa do sistema, e definir um perfil de utilização que represente de forma aproximada a sua taxa de utilização real.

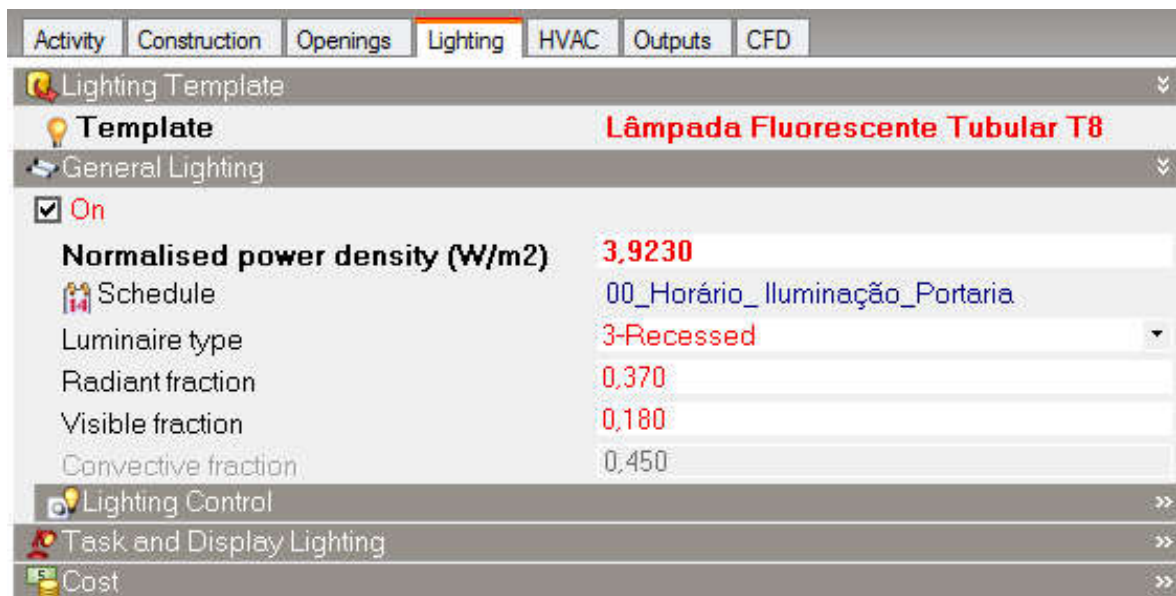


Figura 11 – Aplicação no *DesignBuilder*® da densidade de potência de iluminação para a Portaria 1.

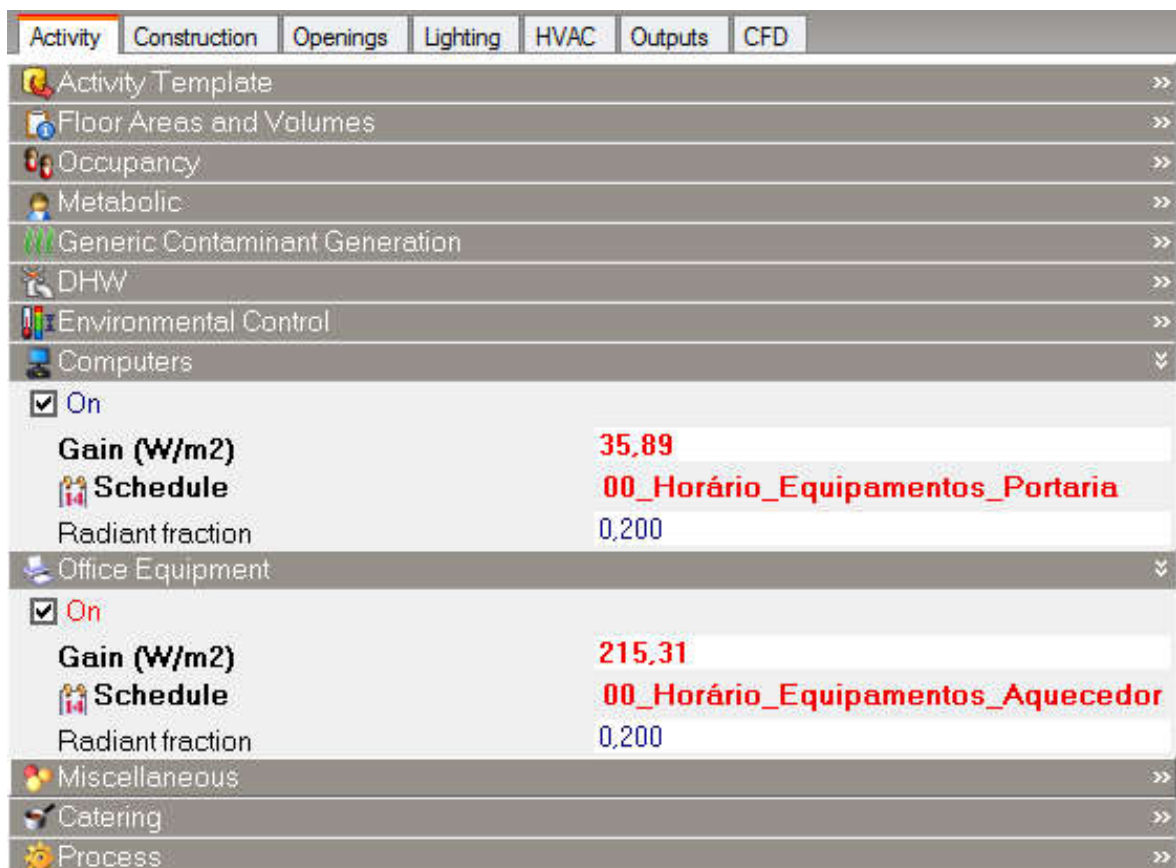


Figura 12 – Aplicação no *DesignBuilder*® da densidade de potência dos equipamentos para a Portaria 1.

4.1.4 SISTEMAS AVAC

Aquando da visita ao Complexo Escolar, foi efetuado o levantamento e caracterização dos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC). O Complexo Escolar dispõe de uma central térmica onde é produzida toda a energia térmica que serve o sistema de aquecimento central dos Blocos A, C e D. Para esse efeito, existem na central térmica duas caldeiras a gás propano, cada uma com uma potência nominal útil de 234,30 kW (Figura 13). Do estado de operação das caldeiras foi possível constatar o seu bom funcionamento, confirmado com uma elevada eficiência de combustão de 96,7%, obtida com a monitorização efetuada com o recurso ao medidor de gases de combustão Kigaz 300. Ainda se verificou a presença de isolamento nas tubagens, o que permite reduzir perdas térmicas inerentes aos processos de transferência de calor, beneficiando a eficiência do sistema de produção de energia térmica.

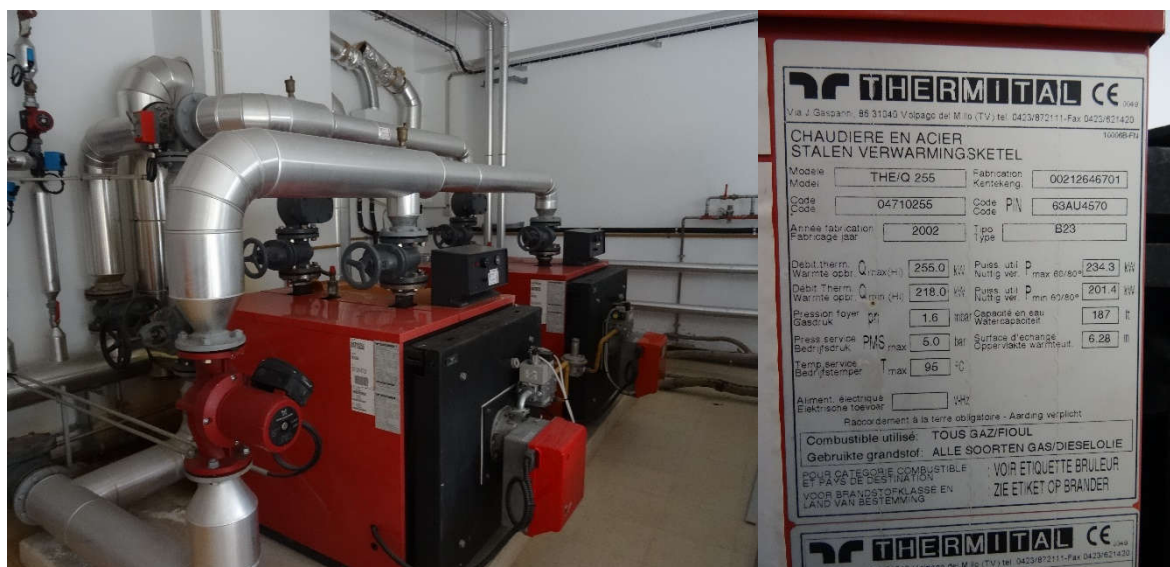


Figura 13 – Caldeiras de gás propano (esquerda), e suas características técnicas (direita).

Ao sistema de produção de energia térmica está associado um sistema de bombagem de água, não tendo sido possível a caracterização dos seus circuitos (representado na Figura 14, à esquerda). Apenas foi possível verificar que no circuito primário das caldeiras, existe uma bomba de circulação que abastece um coletor que deriva para vários circuitos, onde cinco desses circuitos possuem bombas de circulação. As bombas circuladoras são na sua generalidade da marca *Grundfos*, de velocidade constante, uma das quais se encontrava desativada à data das visitas.

Para se conseguir climatizar os espaços surge a necessidade de usar elementos terminais, que são radiadores de alumínio murais (Figura 14, à direita), que transferem a energia da água quente para o meio ambiente.



Figura 14 – Sistema de bombagem de água (esquerda), radiadores murais (direita).

Embora o Complexo Escolar disponha de um sistema de aquecimento central, este não supprime, globalmente, as necessidades de aquecimento devido ao seu perfil de utilização. O aquecimento ambiente é então complementado, em muitos espaços, por aquecedores elétricos portáteis, a óleo ou termo ventiladores (Figura 15), representando consumos elétricos bastante significativos.



Figura 15 – Aquecedor elétrico a óleo (esquerda), Termo ventilador (direita).

Para além do sistema de aquecimento central, para a sala do servidor do Bloco A, existe uma unidade de ar condicionado, que está apenas destinada à produção de frio. Este equipamento apresenta uma capacidade nominal de aquecimento de 5,28 kW e de arrefecimento de 4,98 kW. As suas eficiências sazonais correspondem a 3,8 para SCOP (*seasonal coefficient of performance*) e a 6,5 para SEER (*seasonal energy efficiency ratio*),

e funciona permanentemente com a temperatura estabelecida nos 23 °C. Na Figura 16 está ilustrado o sistema de ar condicionado, com a unidade interior do lado esquerdo e a unidade exterior do lado direito.



Figura 16 – Unidade de ar condicionado, unidade interior do lado esquerdo e unidade exterior do lado direito.

A produção de AQS neste complexo é assegurado por três sistemas distintos:

- Para o Bar do Bloco A, está instalado um cilindro elétrico de 50 litros de capacidade e de 2,4 kW de potência elétrica (Figura 17). Na ausência de melhor informação, considerou-se um rendimento de 90%, agravado de um fator de correção, devido à idade da instalação e face à ausência de evidência de manutenção, de 0,95, conforme a simplificação prevista pelo Despacho n.º 15793-E/2013 [39];

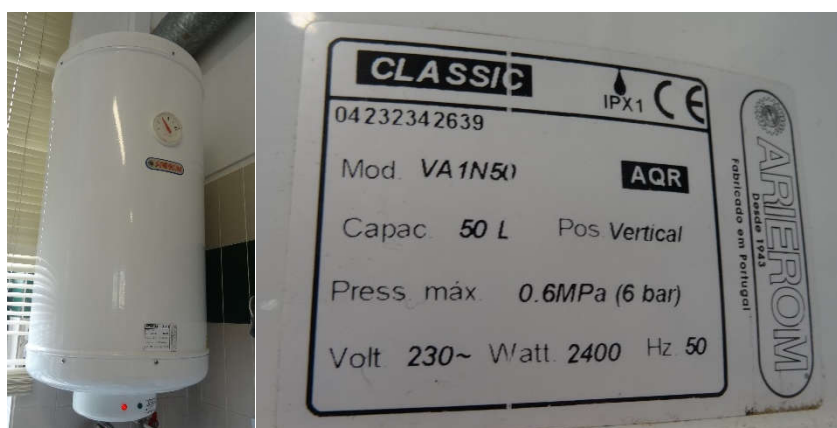


Figura 17 – Cilindro elétrico de 50 litros de capacidade do Bar do Bloco A.

- Para a cozinha do Bloco D, está instalado um esquentador a gás propano de 30,5 kW de potência térmica nominal e com um rendimento de 88 %, segundo o catálogo do fornecedor (Figura 18);

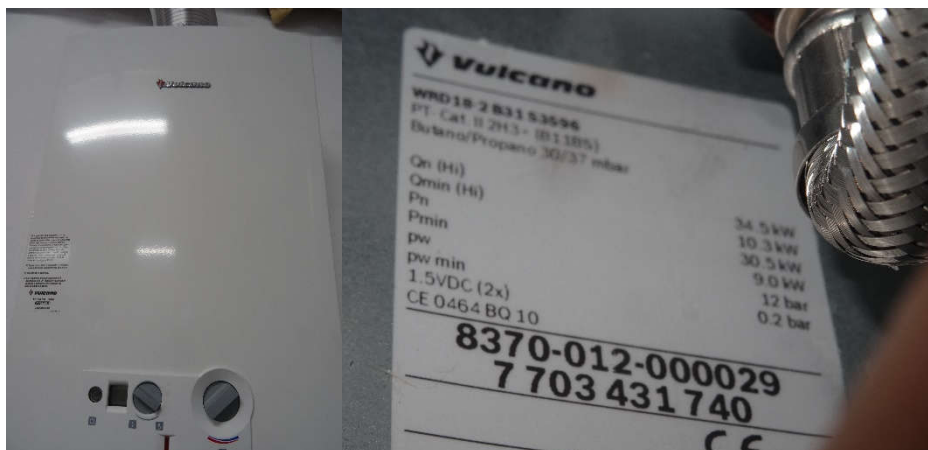


Figura 18 – Esquentador de gás propano para preparação de AQS da cozinha do Bloco D.

- Para o Pavilhão, estão instaladas duas caldeiras a gás propano, uma delas de reserva, estando por esse motivo só uma em utilização. As caldeiras apresentam as ambas uma capacidade de aquecimento nominal de 29,7 kW. O sistema dispõe ainda de um termoacumulador com 675 litros de capacidade (Figura 19). Na ausência de melhor informação, considerou-se para este equipamento um rendimento de 75 %, agravado de um fator de correção, devido à idade da instalação e face à ausência de evidência de manutenção, de 0,95, conforme a simplificação prevista pelo Despacho n.º 15793-E/2013 [39]; Para a circulação de água quente, está instalada uma bomba de circulação de velocidade constante, com uma potência útil nominal de 88 W.



Figura 19 – Caldeiras a gás propano (à esquerda), e termoacumulador de água (à direita).

Os sistemas de preparação de AQS não foram introduzidos no modelo de simulação, contabilizando-se o seu efeito através de um consumo médio anual representativo dos sistemas. Os cálculos inerentes apresentam-se no Apêndice X, na Tabela 85.

Os cálculos auxiliares para a determinação dos consumos representativos do sistema de circulação de água para o aquecimento central e para a preparação de AQS, são apresentados no Apêndice X, na Tabela 87 e na Tabela 88.

Neste edifício não existem sistemas de ventilação mecânica, para além das exaustões mecânicas das *hottes* das cozinhas (no bar e nas cozinhas dos Blocos A e D) e de dois ventiladores murais instalados em salas de aulas do Bloco C, todos de utilização pontual. Os ventiladores murais, que se encontram instalados nas janelas de duas salas do Bloco C, têm associados um motor elétrico de 75 W (Figura 20). O ventilador de extração da *hotte* da cozinha do Bloco A tem associado um motor elétrico de 115 W e o do Bar tem associado um motor elétrico de 90 W. Quanto aos ventiladores de extração das *hottes* da cozinha do Bloco D, não foi possível obter nenhuma característica dos mesmos.



Figura 20 – Ventiladores murais instalados nas janelas de duas salas do Bloco C.

Para o modelo de simulação previsto, e no caso em que os espaços são ventilados exclusivamente com recurso a meios naturais, é necessário considerar o caudal mínimo de ar novo determinado pelo método prescritivo, onde para isso, foi utilizada a folha de cálculo fornecida pelo LNEC para o efeito, denominando-se por “Qventila” [13], [43].

Todas as características técnicas associadas aos sistemas de AVAC apresentados, são detalhadas no Apêndice VI. Os caudais mínimos de ar novo obtidos mediante o método prescritivo também são especificados na Tabela 75 desse apêndice.

No modelo de simulação que representa os consumos reais, foi apenas considerado o sistema de aquecimento central para os espaços que possuem radiadores de alumínio murais, e no que se refere à ventilação, esta não foi considerada para nenhum espaço, uma vez que apresenta um uso meramente pontual (Tabela 75). No Apêndice VI, mais especificamente na Tabela 76, estão apresentados todos os valores relativos à climatização e ventilação considerados nos três modelos de simulação desenvolvidos, por zona térmica. De modo a entender-se a incorporação dos sistemas AVAC no programa de simulação, e a título de exemplo, apresenta-se na Figura 21 o separador de introdução destes parâmetros para o caso da Portaria 1, no modelo de referência.

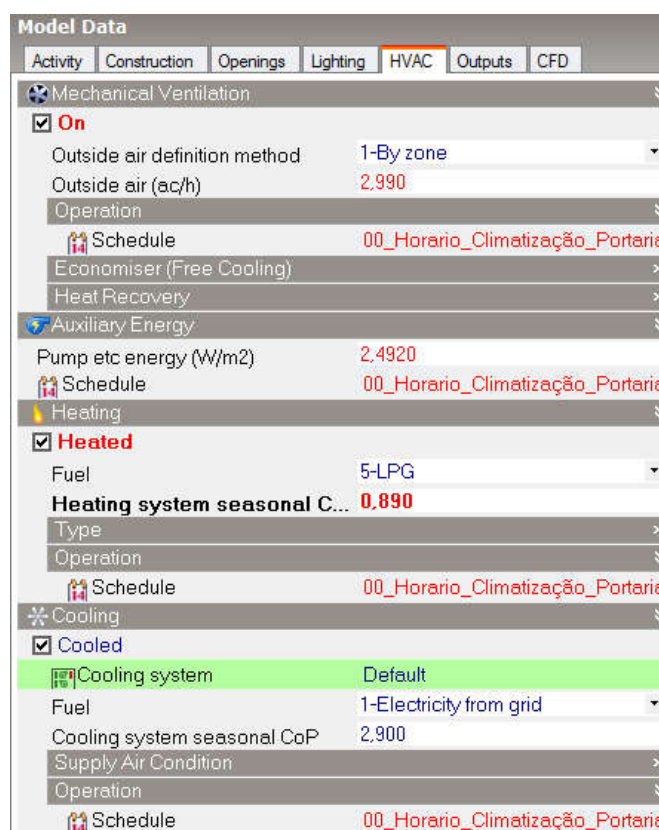


Figura 21 – Introdução dos parâmetros, no *DesignBuilder*®, da Climatização e Ventilação para a Portaria 1, no modelo de referência.

4.1.5 PERFIS DE UTILIZAÇÃO

Depois de caracterizados todos os equipamentos instalados, sistemas técnicos e sistema de iluminação é necessário definir quais os respetivos perfis de funcionamento. O edifício em estudo representa um estabelecimento de ensino, e para tal, o tipo de ocupação humana existente é dependente do calendário letivo, com uma redução significativa nos períodos de férias escolares [Natal, Páscoa e verão (encerra no mês de agosto)], sem

ocupação noturna e sem ocupação aos fins de semana. Os perfis de ocupação utilizados variam de espaço para espaço, sendo que muitos deles possuem uma ocupação aproximada de 6 horas diárias. Assim no Apêndice VII, juntaram-se os espaços do Complexo Escolar pelas diferentes zonas térmicas, apresentando-se um conjunto de tabelas com o número de ocupantes e a densidade de ocupação por zona térmica. Estes dados foram obtidos mediante informações recolhidas no local, e com a informação do número típico de alunos de cada turma, sendo que a ocupação total corresponde a cerca de 180 alunos e 20 professores e funcionários. Uma vez que o tipo de ocupação existente contempla várias faixas etárias, e visto que o metabolismo dos ocupantes é diferenciado mediante a idade e a atividade do ocupante, no programa de simulação foi considerada a média ponderada da atividade metabólica, disposta na Portaria n.º 353-A/2013 [44].

Os sistemas consumidores de energia são caracterizados pela potência útil nominal, ou seja, a energia que necessitam utilizar para realizar uma função. Muitas vezes, estes sistemas, não utilizam permanentemente a potência máxima que os caracteriza, razão pela qual é necessário a criação de um perfil que consiga demonstrar a utilização dos sistemas, quanto ao seu consumo de energia e quanto à utilização dada por parte dos ocupantes. O processo do desenvolvimento dos perfis deve ser bastante crítico, uma vez que tem uma elevada influência nos ganhos internos do edifício. Com isto, foram desenvolvidos vários perfis de utilização, para os equipamentos, para a iluminação e para os sistemas AVAC, tendo-se procurado estabelecer um perfil idêntico à utilização/comportamentos evidenciados no local, não descorando o facto de os componentes eletrónicos consumirem energia elétrica, mesmo quando não estão a ser utilizados.

De entre todos os perfis desenvolvidos, importa referir que o sistema de aquecimento central não é utilizado em pleno, uma vez que é da responsabilidade de um funcionário ligar as caldeiras do aquecimento central às 7:30 h e de as desligar às 10:00 h durante a estação de aquecimento. Isto implica, que os aquecedores portáteis presentes nas salas de aula sejam acionados a partir das 10:30 h, até aproximadamente às 17:30 h.

Uma vez que existem bastantes espaços diferentes e um número elevado de perfis desenvolvidos, apenas, a título de exemplo, é apresentado o desenvolvimento do perfil de utilização do aquecimento central no programa de simulação – Figura 22.

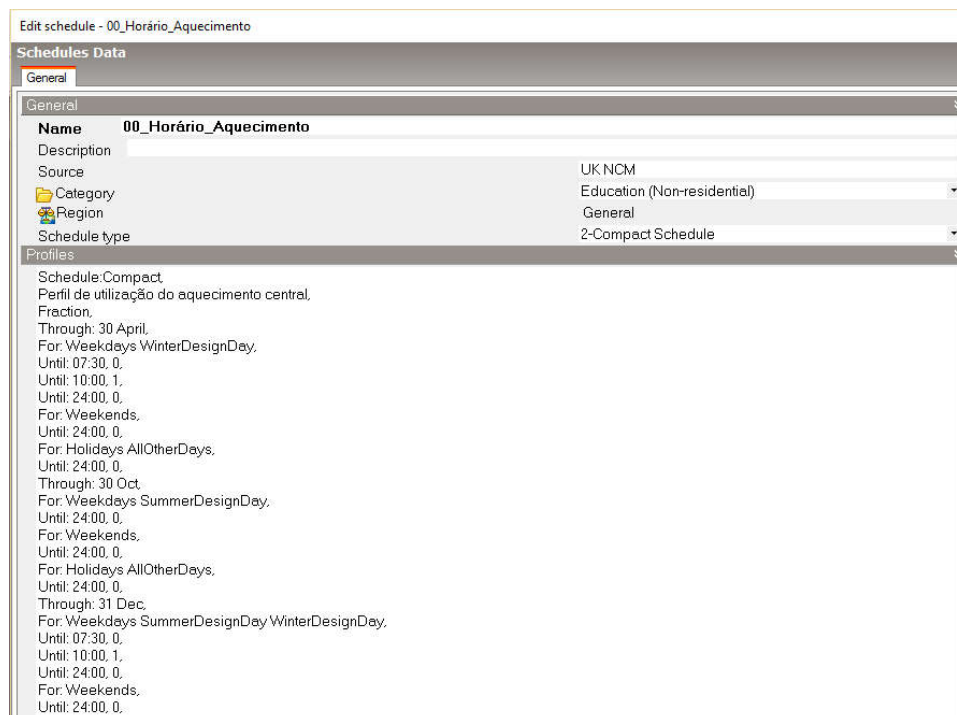


Figura 22 – Desenvolvimento, no *DesignBuilder*®, do perfil de utilização para o aquecimento central.

4.1.6 ZONAMENTO TÉRMICO

Depois da análise dos perfis de ocupação, de iluminação, dos equipamentos, dos sistemas AVAC e da orientação de cada espaço foi possível a agregação dos espaços com condições semelhantes. A avaliação do zonamento térmico é bastante importante para que se consiga simplificar o modelo energético sem comprometer os resultados obtidos. Dos 38 espaços existentes no Bloco A constituíram-se 20 zonas térmicas com a tipologia de Ensino Básico (1ºCiclo) e uma com a tipologia de Cozinhas. Dos 29 espaços existentes no Bloco C constituíram-se 9 zonas térmicas, com as tipologias de Ensino Básico (1ºCiclo), de Ensino Básico (2ºCiclo) e de Zonas Técnicas. Dos 9 espaços existentes no Bloco D constituíram-se 4 zonas térmicas, com as tipologias de Cozinhas, de Ensino Básico (1ºCiclo) e de Zonas Técnicas. Dos 14 espaços existentes no Pavilhão constituíram-se 6 zonas térmicas, com a tipologia de Clube Desportivo sem Piscinas. Para as Portarias 1 e 2 foi constituída apenas uma zona térmica para cada uma, em que a Portaria 1 assumiu a tipologia de Ensino Básico (1ºCiclo) e a Portaria 2 assumiu a tipologia de Armazém. No total o Complexo Escolar perfaz uma área interior útil de pavimento de 3 547,67 m². Para uma apresentação detalhada do zonamento térmico são apresentados no Apêndice VIII os desenhos 2D dos blocos do Complexo Escolar. Com o recurso às tabelas do Apêndice I é

possível a verificação dos diferentes espaços que constituem cada uma das zonas térmicas. A título de exemplo é apresentada, na Figura 23 e na Figura 24, a ilustração do zonamento térmico do Bloco A desenvolvido no modelo de simulação.

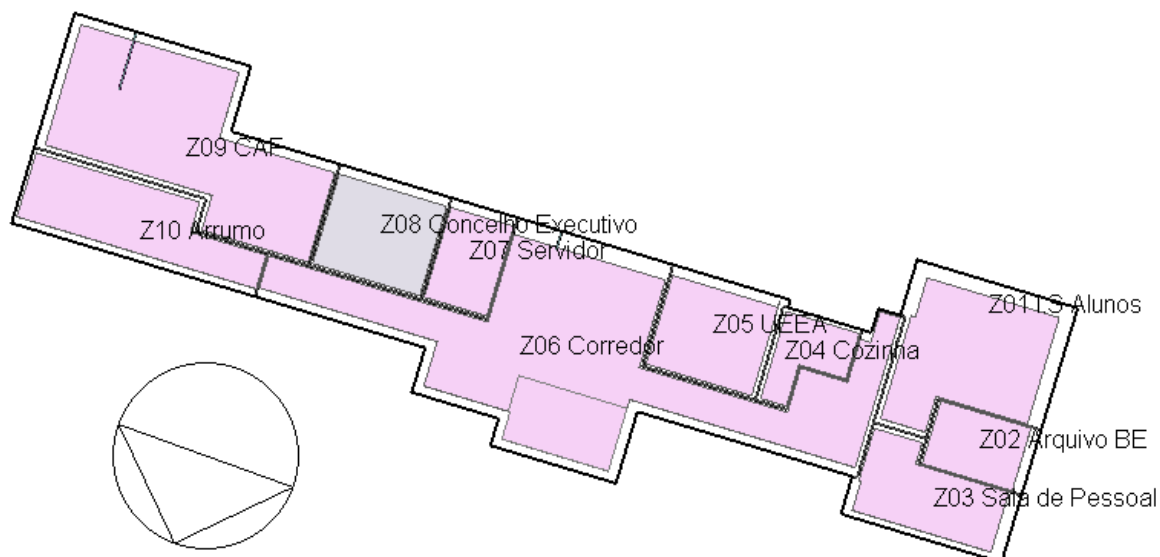


Figura 23 – Caracterização do zonamento térmico do Piso 0 do Bloco A no *DesignBuilder®*.

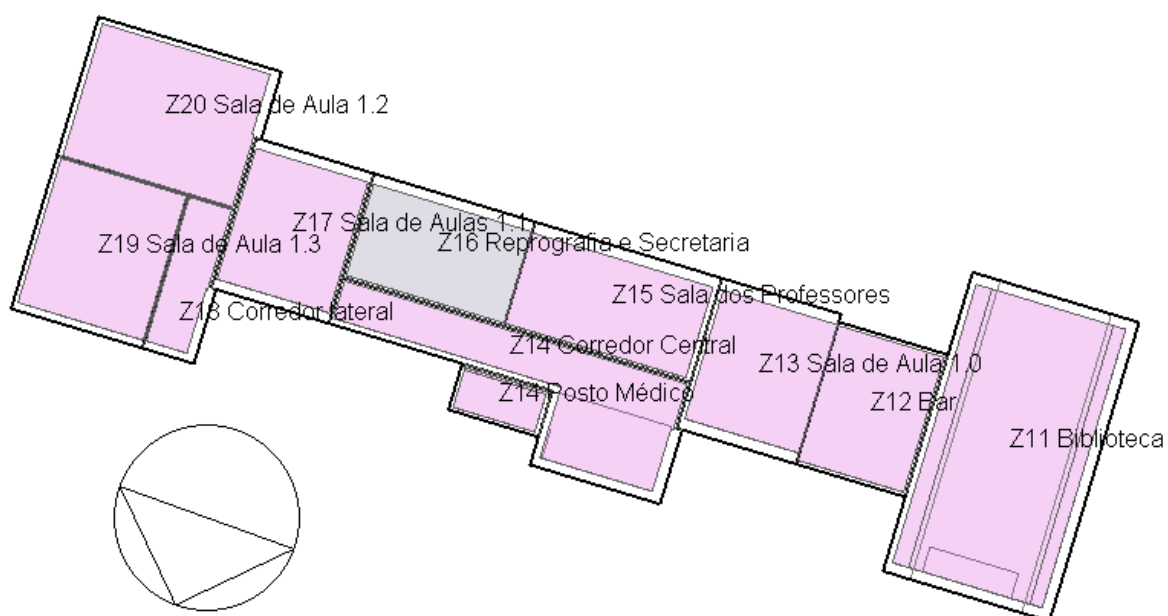


Figura 24 – Caracterização do zonamento térmico do Piso 1 do Bloco A no *DesignBuilder®*.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO DE REFERÊNCIA

O edifício de referência apresenta-se como um edifício de comparação do desempenho energético, onde com os resultados obtidos mediante a incorporação das soluções e parâmetros de referência, é possível a obtenção da classe energética do edifício em estudo. Este edifício incorpora as disposições enunciadas no Capítulo 3, sendo que para os parâmetros que não apresentam soluções de referência, este adota as soluções do modelo de simulação previsto.

No que se refere à localização, ao ficheiro climático e à orientação solar, o edifício de referência irá incorporar as mesmas características que o edifício real apresenta, para assim, os resultados não serem influenciados por soluções padronizadas. Para além destes parâmetros, o mesmo acontece com os perfis de utilização e ocupação, com os equipamentos instalados e com o zonamento térmico, uma vez que permanecem inalterados relativamente ao modelo previsto.

4.2.1 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Para a caracterização das soluções construtivas do edifício de referência, foram adotadas todas as disposições enunciadas no Capítulo 3. Uma vez que o Complexo Escolar está inscrito na zona climática I2-V2, o valor para o U da zona corrente da envolvente dos elementos opacos verticais é de $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, dos elementos opacos horizontais é de $0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e para os vãos envidraçados exteriores é de $3,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O valor adotado para o fator solar dos vãos envidraçados, sem dispositivos de sombreamento, foi de 0,20. Para os vãos envidraçados, é de referir que existiu a necessidade de redução da área do vão conforme os requisitos já enunciados, não existindo nenhum vão com mais de 30% da área da fachada onde se insere.

4.2.2 SISTEMAS CONSUMIDORES DE ENERGIA

Para o desenvolvimento do edifício de referência, os equipamentos instalados mantêm-se inalterados em relação ao estabelecido no modelo previsto (descritos na Tabela 10), devido à sua influência na produção de cargas térmicas, embora estes não entrem no cálculo para a determinação da classe energética do edifício.

Para o sistema de iluminação foram adotadas as situações enumeradas no Capítulo 3, tendo havido necessidade de obter a densidade de potência de iluminação

recorrendo aos parâmetros da Tabela 62 do Apêndice IV. Com os valores por cada espaço do Complexo Escolar, efetuou-se uma média ponderada tendo em conta a área de cada espaço, obtendo-se os resultados da Tabela 11, que caracterizam o sistema de iluminação do edifício de referência por cada zona térmica.

Tabela 11 – Densidade de potência de iluminação de referência por zona térmica.

ILUMINAÇÃO DO EDIFÍCIO DE REFERÊNCIA			
Bloco	Zona	Designação Espaço	Densidade de Potência [W/m²]
Bloco A	Z01	Instalações Sanitárias	7,94
	Z02	Arquivo BE	3,40
	Z03	Sala de Pessoal	4,34
	Z04	Cozinha	17,00
	Z05	UEEA	7,2
	Z06	Corredor	4,46
	Z07	Servidor	6,80
	Z08	Concelho Executivo	10,50
	Z09	CAF	10,46
	Z10	Arrumo	3,55
	Z11	Biblioteca	12,27
	Z12	Bar	11,40
	Z13	Sala de aulas 1.0	7,20
	Z14	Corredor Central	8,08
	Z15	Sala Professores	5,71
	Z16	Reprografia/Papelaria	12,00
	Z17	Salas de Aulas 1.1	7,20
	Z18	Corredor Lateral	4,24
	Z19	Sala de Aulas 1.3	7,20
	Z20	Sala de Aulas 1.2	7,20
Bloco C	Z01	Hall	6,83
	Z02	Elevador	6,25
	Z03	Salas EB1	7,20
	Z04	Salas de Ciências	9,62
	Z05	Corredor	4,04
	Z06	Sala EVT	12,00
	Z07	Salas 1º Piso	7,20
	Z08	Sala música	7,20

ILUMINAÇÃO DO EDIFÍCIO DE REFERÊNCIA			
Bloco	Zona	Designação Espaço	Densidade de Potência [W/m²]
	Z09	Gabinete	9,39
Bloco D	Z01	Cozinha	14,08
	Z02	Refeitório	7,34
	Z03	Caldeira	6,80
	Z04	I.S. refeitório	5,51
Pavilhão	Z01	Corredor	4,72
	Z02	Sala professores	10,63
	Z03	Pavilhão	10,20
	Z04	Balneários	7,60
	Z05	Zonas Técnicas	6,80
	Z06	Sala de Formação	7,20
Portaria 1	Z01	Portaria 1	7,20
Portaria 2	Z01	Portaria 2	7,20

4.2.3 SISTEMAS AVAC

Para o edifício de referência, no que diz respeito aos sistemas de AVAC, estes adotam as disposições enunciadas no capítulo anterior. De forma detalhada, na Tabela 76 do Apêndice VI estão representadas todas as zonas que, no edifício de referência, incorporam sistema de climatização, sendo que para o aquecimento ambiente adota-se o *setpoint* de temperatura de 20°C, com uma eficiência de 0,89, e para o arrefecimento ambiente adota-se o *setpoint* de temperatura de 25°C, com uma eficiência de 2,90. De referenciar que alguns espaços que não incorporavam qualquer sistema de climatização no edifício real, passam no edifício de referência a ter de ser consideradas climatizadas, obtendo-se para o aquecimento o sistema bomba de calor do tipo *chiller* de compressão com permuta exterior a ar e para o arrefecimento o sistema *chiller* de compressão com permuta exterior a ar.

No que diz respeito à ventilação, é necessária a incorporação de ar novo nos espaços utilizando um sistema de ventilação mecânico, com uma eficácia de ventilação de 0,8. Para isso, na Tabela 75 do Apêndice VI são apresentados os valores introduzidos no edifício de referência, determinados pelo método prescritivo. Para além disso, devido à necessidade de ventilação mecânica, foram obtidos os valores de densidade de potência

por cada zona térmica, com o recurso ao valor de referência de potência específica ($SFP=1\,250\text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$), apresentados na Tabela 76 do Apêndice VI.

Para a preparação de AQS do edifício de referência, para o cilindro do bar do Bloco A foi considerada uma eficiência de 0,95, para o esquentador que abastece o Bloco D foi considerado uma eficiência de 0,84, e para as caldeiras existentes no Pavilhão foi considerado uma eficiência de 0,89. Posto isto, foram obtidos os resultados da Tabela 86 para os consumos anuais da preparação de AQS e da Tabela 89 para os consumos do sistema de circulação de água para a climatização e para a preparação de AQS do edifício de referência (Apêndice X).

4.3 CONSUMO ENERGÉTICO E DIAGRAMAS DE CARGA OBTIDOS NO ÂMBITO DA AUDITORIA

Com o intuito de se analisarem os consumos energéticos do Complexo Escolar, foram compiladas as faturas de eletricidade dos últimos 3 anos, designadamente, de 2013 a 2015, apresentando-se os dados no gráfico da Figura 25, com uma média de consumo de 77 612,55 kWh/ano (dados no Apêndice IX, Tabela 82). Com estes resultados, consegue-se constatar que os consumos elétricos não tiveram variações significativas nos 3 últimos anos. De ressaltar que mesmo nos períodos de férias escolares e encerramento do Complexo Escolar (no mês de agosto) continuam a existir consumos relevantes, aparentemente sem justificação, e que os consumos aumentam significativamente durante a estação de aquecimento, o que presumivelmente estará associado ao maior recurso à iluminação artificial e à utilização dos aquecedores portáteis para aquecimento ambiente. De registar os elevados consumos do mês de agosto. Dado que o Complexo Escolar fecha nesse período, seria de esperar que os consumos reduzissem de forma significativa. Estes resultados levam a concluir que existem muitos equipamentos que permanecem em *standby* sem necessidade, tais como os equipamentos do bar e da cozinha, computadores e monitores, entre outros. Este facto poderá ser procedente dos comportamentos dos utilizadores, ou da baixa eficiência dos equipamentos, devido à idade que aparentam ter.

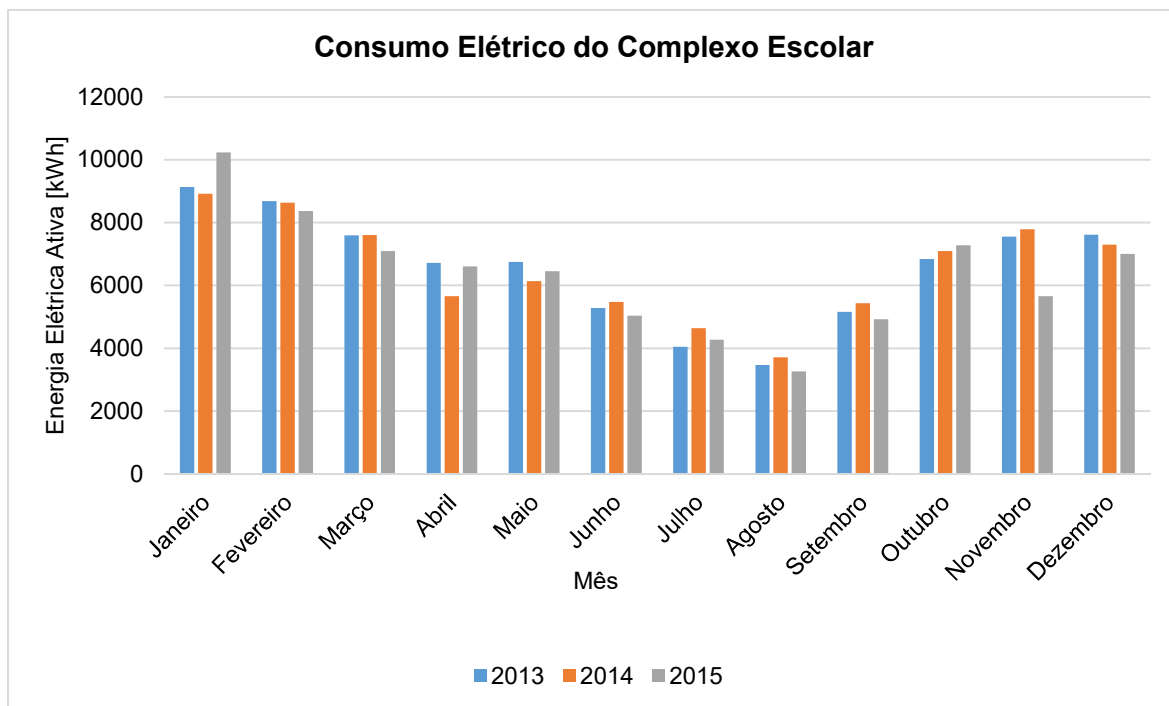


Figura 25 – Evolução do consumo elétrico de energia ativa nos últimos 3 anos do Complexo Escolar.

Para apoiar a análise dos consumidores elétricos, foram requeridos os projetos das instalações elétricas, embora não tenha havido a possibilidade de obter nem o projeto das instalações elétricas, nem um diagrama de alimentações, ou esquemas dos quadros elétricos do edifício. De acordo com o que foi possível apurar durante as visitas realizadas, existe um quadro elétrico geral no Bloco A, que alimenta os circuitos de iluminação e tomadas deste bloco, mas também os quadros parciais dos restantes blocos. Não se evidenciaram quaisquer outros mecanismos de contagem parcial de energia elétrica neste edifício, estando todos os corpos ligados ao mesmo contador elétrico.

Para além das faturas de eletricidade, também foram requeridas as faturas de gás propano, para assim, se analisarem os consumos dos últimos 3 anos. Os dados de 2013 a 2015 foram copilados, e apresentam-se sobre a forma de gráfico na Figura 26, onde estão descritos os abastecimentos realizados neste período temporal (dados no Apêndice IX, Tabela 83). O abastecimento ocorre sempre que o nível do depósito o justifica, pelo que não existe uma noção clara da evolução dos consumos ao longo do ano. A média dos últimos 3 anos do abastecimento de gás propano do Complexo Escolar é de 8 285 kg/ano (106 558,59 kWh/ano), onde foi abastecido 4 vezes em 2013, em janeiro, março, maio e dezembro, 5 vezes em 2014, em janeiro, fevereiro, abril, novembro e dezembro e 4 vezes em 2015, em fevereiro, maio, outubro e dezembro. Com os resultados

apresentados é possível constatar que o abastecimento ocorre maioritariamente na estação de aquecimento, derivado do consumo para aquecimento central, e constata-se ainda que houve uma diminuição do consumo de gás propano no ano de 2015. Não se evidenciou qualquer mecanismo de contagem parcial de gás propano, nem foi possível obter o projeto de rede de gás.

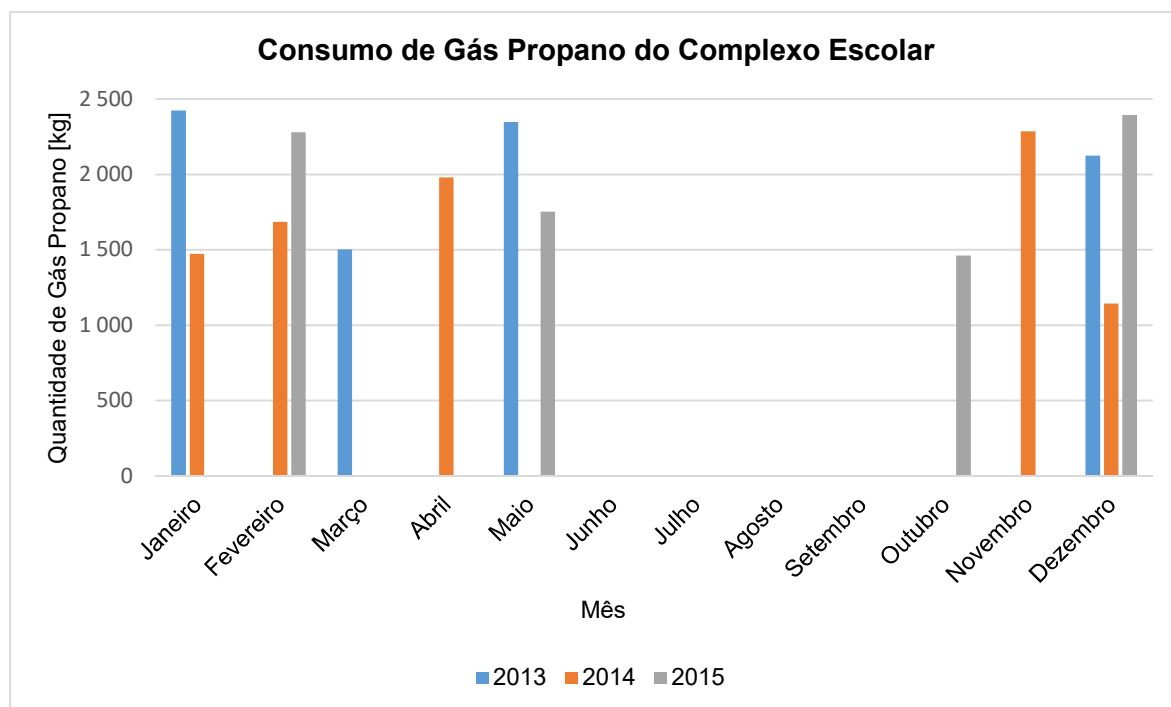


Figura 26 – Consumo de gás propano do Complexo Escolar nos últimos 3 anos.

Depois da análise do histórico dos consumos energéticos, procedeu-se a uma repartição dos consumidores energéticos do Complexo Escolar. Para isso, foi necessária a análise dos quadros elétricos dos diferentes blocos, de modo a ser possível a monitorização dos consumidores elétricos. O processo de monitorização desenrolou-se por um período de vários dias e em vários pontos da instalação elétrica. Neste processo mediram-se os consumos do quadro geral de baixa tensão (QGBT) existente no Bloco A, do quadro geral do Bloco C, do quadro geral do Bloco D, do quadro parcial da zona técnica das caldeiras do aquecimento central do Bloco D, do servidor presente no Bloco A e, ainda, do elevador do Bloco C. Para o efeito foram utilizados analisadores de redes de distribuição de energia, nomeadamente o *Chauvin Arnoux* e o sistema *Lem-Wireless*, (Figura 27). Neste processo não foi possível a monitorização do quadro parcial do Pavilhão, devido à distância deste aos outros corpos.

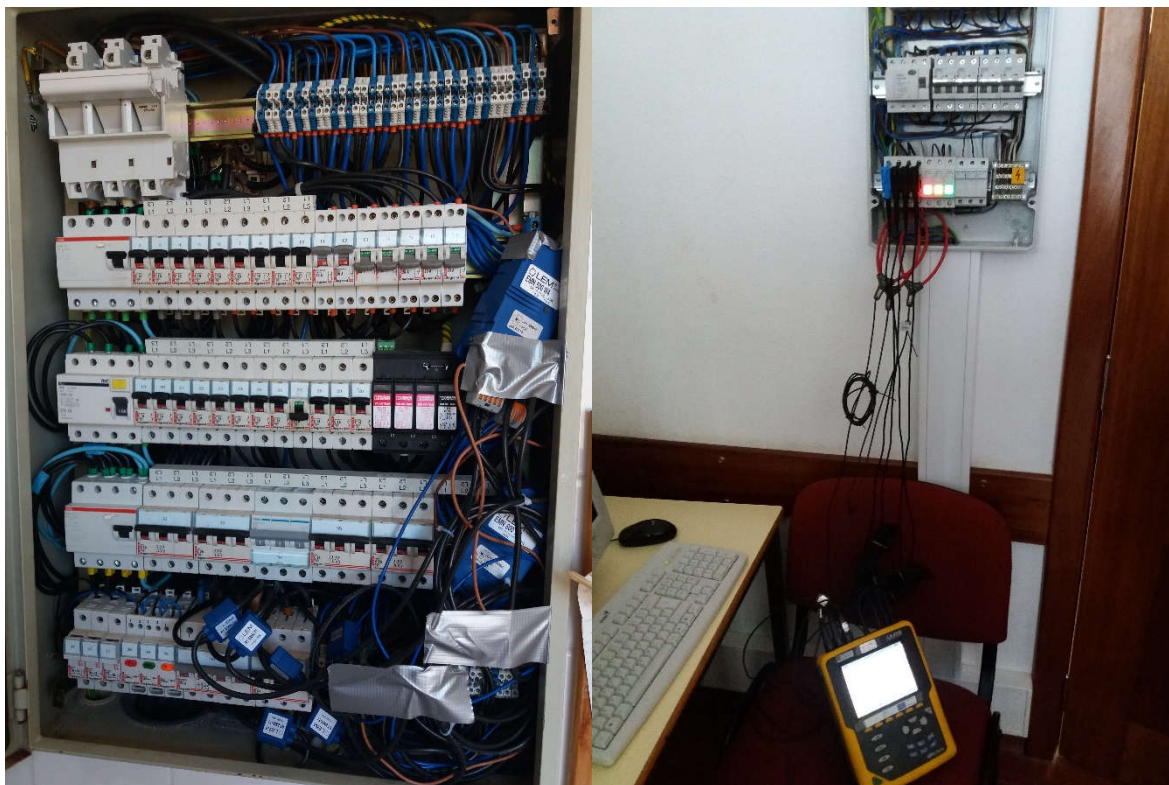


Figura 27 – Analisadores de redes de distribuição de energia utilizados no âmbito da auditoria, o sistema *Lem-Wireless* (à esquerda) e *Chauvin Arnoux* (à direita).

Das monitorizações desenvolvidas, foram analisados os diagramas do consumo elétrico dos diferentes sistemas, sendo apresentados os diversos diagramas no Apêndice IX, da Figura 58 à Figura 63. De referenciar os consumos residuais verificados nas faturas e nas medições efetuadas em contínuo no período de auditoria, uma vez que durante o fim de semana seriam de esperar menores consumos elétricos, bem como nos meses de agosto quando o Complexo Escolar se encontra encerrado.

Os gráficos da Figura 28 destacam a repartição dos consumos monitorizados no processo de auditoria energética, baseados nos valores da Tabela 84 do Apêndice IX. Os resultados apresentados demonstram um elevado défice de informação dos consumidores energéticos, uma vez que a percentagem de “outros” consumos é bastante elevada. Uma vez que não surgiu a oportunidade da realização de uma nova auditoria, de modo a aferir os consumos referente a “outros”, foram desenvolvidas análises com base em estimativas esperadas de consumos, para atribuir um valor representativo do potencial consumo dos sistemas em falta.

Com a auditoria efetuada é possível concluir que o consumo elétrico do Bloco C é destinado essencialmente aos equipamentos e iluminação, espectando-se um consumo

anual de 7 680,81 kWh/ano, ou seja, 10 % do consumo total do Complexo Escolar. Para o Bloco D, obteve-se um consumo por parte da central térmica das caldeiras de 31 %, associado sobretudo às bombas circuladoras e aos controladores eletrónicos presentes neste local. Os 69 % restantes deste bloco, representam os consumos inerentes à iluminação e aos equipamentos elétricos auxiliares à confeção alimentar da cozinha, perfazendo 10 % do Complexo Escolar (7 600,14 kWh/ano). O servidor, sendo um equipamento que permanece ligado o ano inteiro, representa 6 % do consumo total do Complexo Escolar.

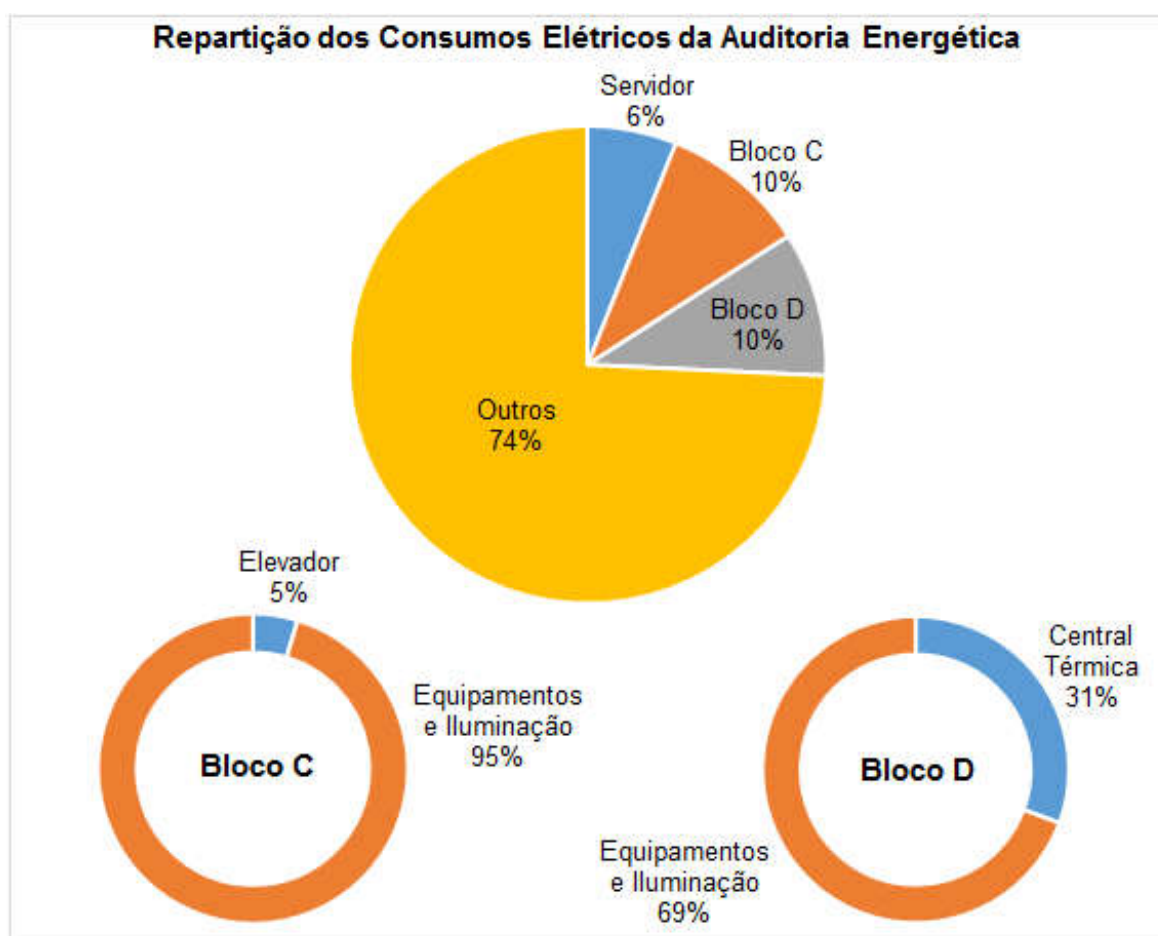


Figura 28 – Repartição dos consumos elétricos da auditoria energética desenvolvida ao Complexo Escolar.

Para se conseguir uma melhor repartição dos consumos energéticos, desenvolveram-se várias estimativas para os sistemas instalados no Complexo Escolar. Assim, para o sistema de iluminação e para os equipamentos instalados estimaram-se consumos com base nas potências instaladas e em perfis de iluminação, consoante as informações obtidas no local. Os consumos inerentes às bombas circuladoras e à

preparação das AQS foram também estimados, segundo a metodologia já apresentada anteriormente (Apêndice X).

Com os resultados obtidos foi possível obter uma melhor desagregação dos consumos, mesmo que em parte, não tenham sido sustentados com resultados de monitorizações efetuadas. Assim, na Figura 29 é apresentada a repartição dos consumos elétricos pelos diferentes blocos do Complexo Escolar.

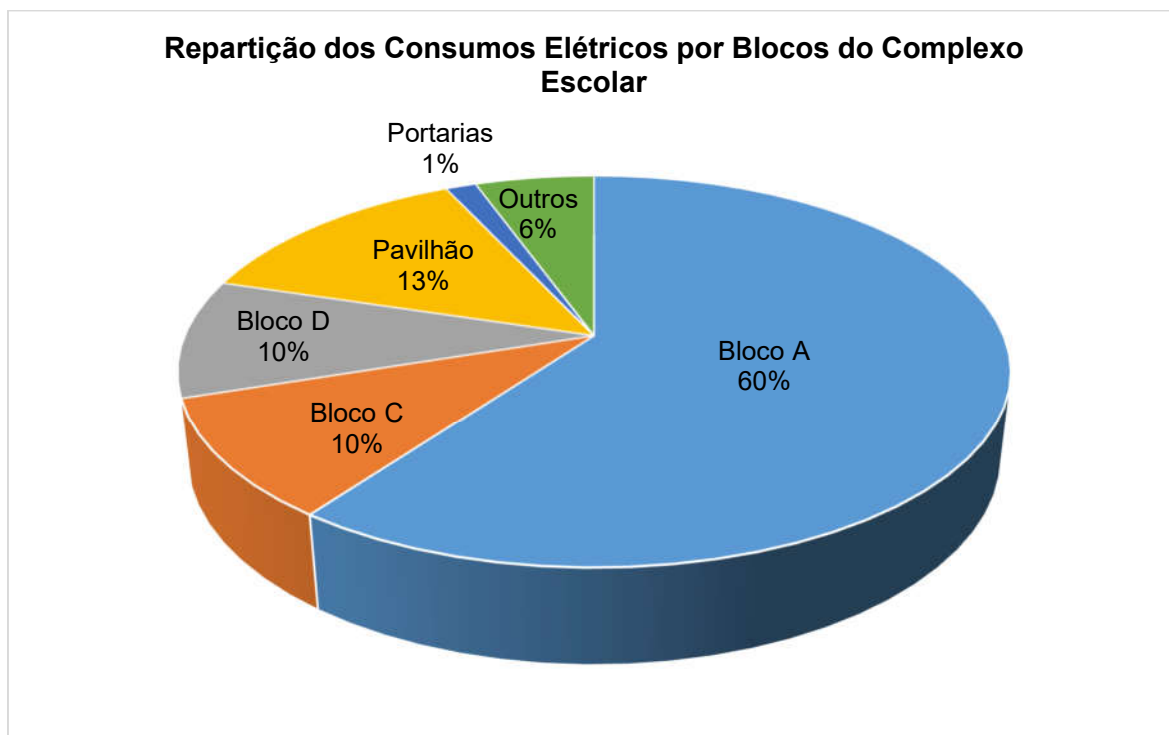


Figura 29 – Repartição dos consumos elétricos desagregados por blocos do Complexo Escolar.

Pelo gráfico apresentado consegue-se aferir que o Bloco A é o corpo que tem maiores necessidades energéticas, sendo justificado pelo maior número de aquecedores elétricos existentes nas salas de aula, pela presença do servidor que alimenta todos os corpos, pela presença do bar que possui vários equipamentos de consumos significantes, pela presença de um sistema de ar condicionado para a sala do servidor e, por último, pelo consumo inerente à iluminação exterior. Após o processo desenvolvido, obteve-se uma percentagem de “outros” consumos aceitável, ao contrario do que se tinha aferido com os resultados da monitorização dos sistemas.

Para uma melhor perceção dos consumidores energéticos, apresentam-se na Tabela 12 os valores dos consumos desagregados pelos vários sistemas consumidores.

Tabela 12 – Repartição dos consumos elétricos desagregado pelos vários consumidores do Complexo Escolar.

REPARTIÇÃO DOS CONSUMOS ELÉTRICOS POR SISTEMA CONSUMIDOR		
Sistemas Consumidores	Consumo Elétrico Total	
	[kWh/ano]	[%]
Bloco A	46 598,37	60,04
Iluminação Interior	10 771,00	13,88
Equipamentos	18 705,49	24,10
Servidor	4 692,03	6,04
Iluminação Exterior	12 429,85	16,02
Bloco C	7 680,81	9,90
Iluminação Interior	4 505,00	5,81
Equipamentos	2 817,74	3,63
Elevador	358,07	0,46
Bloco D	7 600,14	9,79
Iluminação Interior	3 135,00	4,04
Equipamentos	2 134,26	2,75
Central Térmica	2 330,88	3,00
Pavilhão	10 351,00	13,34
Iluminação Interior	8 647,00	11,14
Equipamentos	1 704,00	2,20
Portarias	1 102,00	1,42
Iluminação Interior	694,00	0,89
Equipamentos	408,00	0,53
Outros	4 280,23	5,51

Para além dos consumos elétricos, existiu a necessidade de estimar os consumos de gás propano, uma vez que não foi possível a monitorização deste tipo de sistemas. Para isso, estimaram-se os consumos necessários para a produção de AQS, para os equipamentos inerentes à confeção de refeições na cozinha do Bloco D, para se determinar por diferença, o consumo de gás propano representativo do aquecimento central.

Para se estimar o consumo de gás propano inerente à confeção das refeições na cozinha do Bloco D recorreu-se a faturas energéticas, nomeadamente às correspondentes aos abastecimentos efetuados em maio e abril, tendo-se assumido que estes abastecimentos serviram apenas meses em que não existam necessidades de

climatização com recurso à caldeira. Partindo deste pressuposto, determinou-se um consumo médio diário (nos dias úteis) de gás propano, utilizado para a confeção de refeições e para a produção de AQS, de 229,7 kWh/dia ou 45 940 kWh/ano (ver Apêndice IX).

Após a metodologia apresentada no Apêndice IX obteve-se uma desagregação dos consumos de gás propano constituída pelos seguintes consumos:

- consumo anual estimado de 14 612,62 kWh/ano para a confeção das refeições na cozinha do Bloco D;
- consumo anual estimado de 31 327,38 kWh/ano para a preparação das AQS (segundo a metodologia apresentada no Apêndice X);
- consumo anual estimado de 60 618,59 kWh/ano para o aquecimento central.

A partir da junção dos consumos de eletricidade e de gás propano obteve-se a Figura 30 com a repartição dos consumos energéticos pelos vários pontos de consumo do Complexo Escolar. Esta desagregação elucida os grandes consumidores energéticos e, neste caso, é possível verificar que o elevador tem consumos residuais.

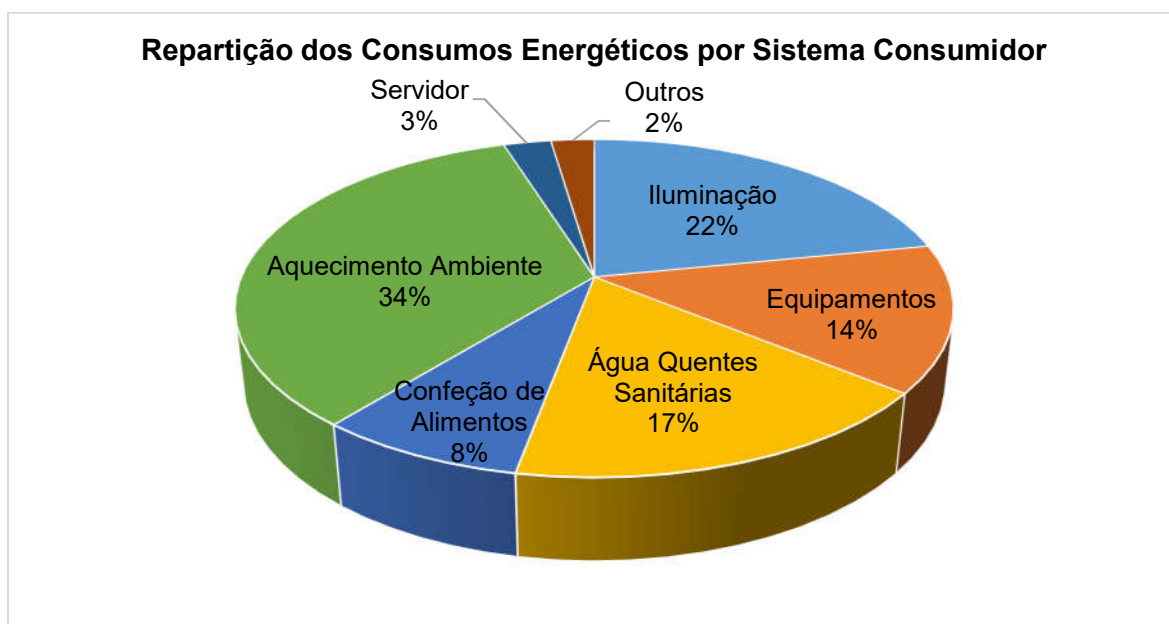


Figura 30 – Repartição dos consumos energéticos pelos diferentes sistemas.

4.4 MODELAÇÃO DINÂMICA

Os sistemas e soluções apresentadas foram imprescindíveis para a obtenção dos vários modelos de simulação dinâmica. Em primeiro lugar, foi desenvolvido o modelo de simulação real (Figura 31), de modo a ser possível a calibração do modelo com os históricos dos consumos energéticos e com os resultados da auditoria executada. Posteriormente à calibração do modelo de simulação, desenvolveu-se o modelo previsto, respondendo a todas as disposições legais apresentadas no Capítulo 3, onde se incorporaram as soluções já especificadas. Deste modelo, foram obtidos os resultados dos consumos energéticos simulados, que serviram para calcular o parâmetro IEE_{pr} . Por fim, realizou-se o modelo de referência para a determinação do IEE_{ref} , para assim, se culminar na determinação da classe energética do edifício.

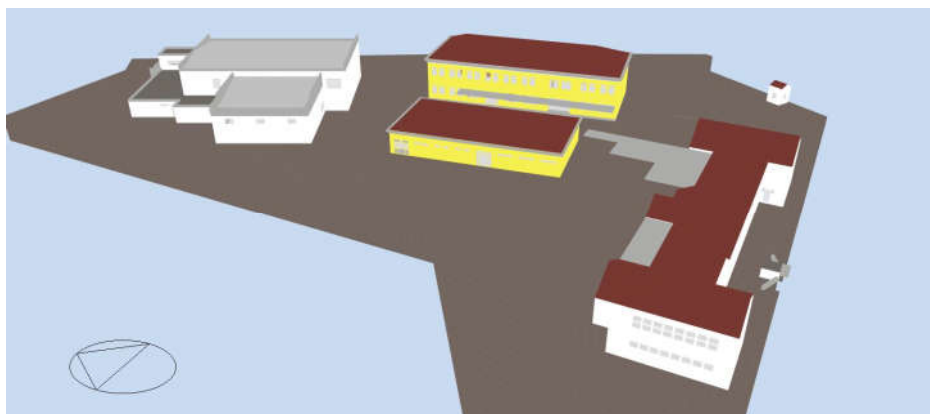


Figura 31 – Fotorrealismo do modelo de simulação dinâmica do Complexo Escolar.

4.4.1 CALIBRAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

A realização do modelo de simulação dinâmica multizona tem como principal objetivo a obtenção dos resultados dos consumos energéticos dos sistemas incorporados, de modo a tornar possível a verificação e análise do desempenho energético do edifício. A incorporação de consumos do Tipo T no modelo de simulação, tem o intuito de representar as cargas térmicas características destes sistemas e a influência na calibração do modelo, uma vez que representam parte dos consumos energéticos registados no Complexo Escolar. O modelo de simulação real foi o ponto de partida para se obter um modelo representativo dos consumos do Complexo Escolar, e para isso, foram introduzidas as soluções efetivamente instaladas e evidenciadas. Através dos resultados apresentados para os consumos energéticos, o modelo de simulação em causa foi calibrado para a média dos consumos anuais dos últimos 3 anos pelo refinamento de alguns perfis de utilização,

admitindo-se uma tolerância máxima de desvio relativo de dez pontos percentuais. De modo a não introduzir erros significativos no modelo, analisou-se mensalmente os consumos simulados, tentando-se não introduzir discrepâncias demasiado elevadas aos consumos mensais, e assim ter-se um modelo representativo dos consumos reais.

Durante o processo de calibração do modelo de simulação dinâmica foi necessário desenvolver várias iterações, tendo-se chegado no final a um desvio relativo no consumo de energia elétrica de 3,01% e no consumo de gás propano de -1,27%. A calibração dos consumos referentes ao aquecimento ambiente desenvolveu-se por alteração do rendimento sazonal das caldeiras de gás propano até se atingirem valores aproximados dos estimados, culminando num rendimento de 50 %. Todos os valores da repartição efetuada com os resultados da auditoria face aos valores simulados, apresentam desvios aceitáveis e, por isso, desenvolveram-se as análises futuras com bases nos valores simulados. Para o consumo inerente aos sistemas de preparação de AQS e das bombas de circulação utilizou-se a metodologia apresentada no Apêndice X, com os dados da Tabela 85 e da Tabela 87, respetivamente. Assim, na Tabela 13, apresentam-se os resultados dos consumos energéticos simulados e estimados para os diferentes sistemas do modelo real.

Tabela 13 – Resultado dos consumos energéticos dos sistemas para o modelo real.

CONSUMOS ENERGÉTICOS GLOBAIS			
Sistema Consumidor		Modelo Real	
		Energia Elétrica [kWh/ano]	Gás Propano [kWh/ano]
Consumos Simulados	Aquecimento Ambiente	-	59 261,14
	Arrefecimento Ambiente	595,67	-
	Iluminação Interior	32 550,11	-
	Iluminação Exterior	12 429,85	-
	Elevador	328,94	-
	Consumos Tipo T	32 484,21	-
Consumos Estimados	AQS	612,13	31 327,38
	Bombas da Climatização	917,28	-
	Bombas das AQS	29,38	-
	Consumos Tipo T	-	14 612,62
TOTAL		79 947,57	105 201,14
CONSUMOS FATURADOS		77 612,55	106 558,59
DESVIO RELATIVO		3,01%	-1,27%

4.4.2 CONSUMOS ENERGÉTICOS SIMULADOS

Depois de se calibrar o modelo real, desenvolveu-se o modelo previsto e o modelo de referência, sendo que os resultados obtidos nestes dois modelos permitiram determinar os parâmetros necessários para a determinação da classe energética do Complexo Escolar. Os resultados obtidos para o modelo real, previsto e de referência, estão apresentados na Tabela 90, na Tabela 91 e na Tabela 92 do Apêndice X, respectivamente.

Para o modelo previsto obtiveram-se os resultados descritos na Tabela 14. De destacar os consumos totais deste modelo, uma vez que são bastante diferentes dos obtidos para o modelo real. Isto resulta da maior necessidade de climatização e do consequente consumo de bombas de climatização, introduzidas pelas disposições da legislação para o modelo em causa.

Tabela 14 – Resultado dos consumos energéticos dos sistemas para o modelo previsto.

CONSUMOS ENERGÉTICOS GLOBAIS			
Sistema Consumidor		Modelo Previsto	
		Energia Elétrica [kWh/ano]	Gás Propano [kWh/ano]
Consumos Simulados	Aquecimento Ambiente	3,34	147 291,01
	Arrefecimento Ambiente	3 120,09	-
	Iluminação Interior	32 550,11	-
	Iluminação Exterior	12 429,85	-
	Elevador	328,94	-
	Consumos Tipo T	32 484,21	-
Consumos Estimados	AQS	612,13	31 327,38
	Bombas da Climatização	7 300,02	-
	Bombas das AQS	29,38	-
	Consumos Tipo T	-	14 612,62
TOTAL		88 858,07	193 231,01

Para o modelo de referência, depois do seu desenvolvimento com os parâmetros de referência aplicáveis, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 15. Nestes resultados, destaca-se a menor necessidade de consumo para o sistema de iluminação de referência, o consumo acrescido da ventilação mecânica para introdução de ar novo nos espaços e a menor necessidade de aquecimento ambiente. Este conjunto de alteração de consumos proporcionam um menor consumo energético anual para o edifício de referência.

Tabela 15 – Resultado dos consumos energéticos dos sistemas para o modelo de referência.

CONSUMOS ENERGÉTICOS GLOBAIS			
Sistema Consumidor		Modelo de Referência	
		Energia Elétrica [kWh/ano]	Gás Propano [kWh/ano]
Consumos Simulados	Aquecimento Ambiente	-	107 390,02
	Arrefecimento Ambiente	2 434,13	-
	Iluminação Interior	21 452,34	-
	Iluminação Exterior	12 429,85	-
	Elevador	328,94	-
	Ventilação	10 590,00	-
	Consumos Tipo T	32 484,21	-
Consumos Estimados	AQS	550,92	30 369,19
	Bombas da Climatização	6 594,42	-
	Bombas das AQS	23,52	-
	Consumos Tipo T	-	14 612,62
TOTAL		86 888,33	152 371,83

Para uma comparação facilitada dos resultados é apresentada na Tabela 16 o resumo dos consumos energéticos dos diferentes modelos de simulação.

4.4.3 ANÁLISE DA RESPOSTA QUALITATIVA DOS MODELOS DESENVOLVIDOS

Os modelos desenvolvidos apresentam um elevado pormenor arquitetónico, construtivo e dos sistemas implementados. Este facto é proporcionado por um levantamento detalhado, onde se pretende tirar o máximo partido das evidências das soluções e sistemas instalados, tentando evitar ao máximo as simplificações passíveis de se efetuarem. Tais simplificações são conservativas, levando o modelo de simulação dinâmica a afastar-se do comportamento térmico real, embora, por vezes, estas simplificações sejam essenciais para a concretização do mesmo.

O modelo real reveste-se de especial importância para a calibração do modelo (com base nas faturas energéticas e resultados da auditoria) e para a análise técnico-económica de medidas de melhoria. Uma vez que é este o modelo que melhor traduz o desempenho energético real do edifício, é também neste que o impacto das medidas de melhoria pode ser reproduzido de forma mais fidedigna. No entanto é com base no modelo previsto que

se efetua a análise comparativa com o modelo de referência, para a determinação da classe energética do edifício. Para uma melhor análise é apresentada a Tabela 16.

Tabela 16 – Resumo dos consumos energéticos dos modelos de simulação.

RESUMO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO				
Sistema Consumidor	Fonte de Energia	Consumo Energético [kWh/ano]		
		Modelo Real	Modelo Previsto	Modelo de Referência
Aquecimento Ambiente	Eletricidade	-	3,34	-
	Gás Propano	59 261,14	147 291,01	107 390,02
Arrefecimento Ambiente	Eletricidade	595,67	3 120,09	2 434,13
Iluminação Interior	Eletricidade	32 550,11	32 550,11	21 452,34
Iluminação Exterior	Eletricidade	12 429,85	12 429,85	12 429,85
Elevador	Eletricidade	328,94	328,94	328,94
Ventilação	Eletricidade	-	-	10 590,00
AQS	Eletricidade	612,13	612,13	550,92
	Gás Propano	31 327,38	31 327,38	30 369,19
Bombas da Climatização	Eletricidade	917,28	7 300,02	6 594,42
Bombas das AQS	Eletricidade	29,38	29,38	23,52
Consumos Tipo T	Eletricidade	32 484,21	32 484,21	32 484,21
	Gás Propano	14 612,62	14 612,62	14 612,62
TOTAL	Eletricidade	79 947,57	88 858,07	86 888,33
	Gás Propano	105 201,14	193 231,01	152 371,83

Para o modelo real, os resultados obtidos para os consumos elétricos e de gás propano comprovam a correta calibração do modelo, com desvios relativos inferiores ao valor máximo aceitável, de 10 %. Com estes resultados, no que diz respeito à eficiência dos sistemas, é possível tirar as seguintes ilações:

- O sistema de aquecimento ambiente do modelo previsto, considerando o consumo das bombas circuladoras, é 36 % menos eficiente que o edifício de referência;
- O sistema de arrefecimento ambiente do modelo previsto é 28 % menos eficiente que o edifício de referência;
- O sistema de iluminação do modelo previsto é 33 % menos eficiente que o edifício de referência;
- O sistema de produção de AQS do modelo previsto, considerando o consumo das bombas circuladoras, é 3 % menos eficiente que o edifício de referência.

4.5 DETERMINAÇÃO DA CLASSE ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO

Como referido anteriormente, um dos objetivos do trabalho desenvolvido incide na determinação dos indicadores de eficiência energética para o cálculo do rácio de classe energética, e consequente obtenção da classe energética do Complexo Escolar. Após toda a metodologia desenvolvida, juntaram-se os parâmetros necessários para a concretização desse objetivo, apresentando na Tabela 17 os valores dos indicadores necessários ao efeito.


Tabela 17 – Determinação dos Indicadores de Eficiência Energética.

CONSUMOS E INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA							
Sistema Consumidor	Fonte de Energia	Modelo Previsto			Modelo de Referência		
		Consumo Energético [kWh/ano]	IEE _s [kWh _{EP} /m ² .ano]	IEE _T	Consumo Energético [kWh/ano]	IEE _s [kWh _{EP} /m ² .ano]	IEE _T
Aquecimento Ambiente	Eletricidade	3,34	0,002	-	-	-	-
	Gás Propano	147 291,01	41,52	-	107 390,02	30,27	-
Arrefecimento Ambiente	Eletricidade	3 120,09	2,20	-	2 434,13	1,71	-
Iluminação Interior	Eletricidade	32 550,11	22,94	-	21 452,34	15,12	-
Iluminação Exterior	Eletricidade	12 429,85	8,76	-	12 429,85	8,76	-
Elevador	Eletricidade	328,94	0,23	-	328,94	0,23	-
Ventilação	Eletricidade	-	-	-	10 590,00	7,46	-
AQS	Eletricidade	612,13	0,43	-	550,92	0,39	-
	Gás Propano	31 327,38	8,83	-	30 369,19	8,56	-
Bombas da Climatização	Eletricidade	7 300,02	5,14	-	6 594,42	4,65	-
Bombas das AQS	Eletricidade	29,38	0,02	-	23,52	0,02	-
Consumos Tipo T	Eletricidade	32 484,21	-	22,89	32 484,21	-	22,89
	Gás Propano	14 612,62	-	4,12	14 612,62	-	4,12
TOTAL		-	90,072	27,01	-	77,17	27,01

Uma vez que o caso em estudo apresenta um ar condicionado no espaço do servidor do Bloco A, recorreu-se à ferramenta SCE.ER, para determinação da componente renovável associada a este sistema, tendo-se obtido um E_{Ren} de 961 kWh/ano. Obtêm-se,

assim, todos os parâmetros necessários à resolução da Equação 2, sendo os resultados apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Determinação da classe energética do Complexo Escolar.

CLASSE ENERGÉTICA DO COMPLEXO ESCOLAR				
IEE _s	IEE _{ref,s} [kWh _{EP} /m ² .ano]	IEE _{Ren}	R _{IEE}	Classe Energética
90,072	77,17	0,68	1,16	

O conjunto de edifícios a certificar que configurem um GES, deverão ter uma classe energética mínima de C e ter um consumo de energia final inferior a 2,5 GWh/ano. Caso tal não aconteça estarão sujeitos a um PRE. Uma vez que a classe energética obtida para o Complexo Escolar é de C e o seu consumo de energia final não ultrapassa os 2,5 GWh/ano, não existe a obrigatoriedade de aplicação de um PRE.

O desempenho energético de um edifício de comércio e serviços, no âmbito do SCE, é aferido também pela determinação do seu IEE. Este parâmetro é determinado com base no somatório dos diferentes consumos anuais, agrupados por fonte de energia e convertidos para energia primária, representada pela Equação 1. Para além do IEE, determinou-se a quantidade de emissões globais de CO₂ oriundas do consumo de energia, recorrendo à Tabela 2. Na Tabela 19 são apresentados os resultados obtidos para o IEE e para as emissões globais de CO₂ do Complexo Escolar. Verifica-se que o modelo previsto apresenta maiores necessidades energéticas face ao modelo de referência, apresentando um IEE 11,73 % superior ao IEE do modelo de referência, e por isso, o Complexo Escolar indicia um baixo desempenho energético. Para além disso, no que se refere às emissões globais de CO₂, o Complexo Escolar emite mais 11,42 % que o edifício de referência.

Tabela 19 – Determinação do IEE e das emissões globais de CO₂ do Complexo Escolar.

DETERMINAÇÃO DOS INDICADORES RELEVANTES		
INDICADOR DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA [kWh _{EP} /m ² .ano]		EMISSIONES GLOBAIS DE CO ₂ [tonCO ₂ /ano]
Modelo Previsto	Modelo de Referência	63,71
116,41	104,18	

5 ANÁLISE DE MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICA

Após a determinação da classe energética e da verificação do desempenho do Complexo Escolar, segue-se a análise de medidas de racionalização dos consumos energéticos, com as quais se pretende otimizar o desempenho energético do edifício. Para o efeito, introduzem-se as alterações correspondentes no modelo de simulação, avalia-se o impacto das mesmas na redução dos consumos energéticos e, posteriormente, faz-se a análise económica e o estudo de viabilidade das diferentes medidas.

A análise económica implica a obtenção de uma estimativa de custos da implementação das medidas de racionalização energética, sendo que na sua maioria foram obtidas através de consulta a instaladores da especialidade, tendo-se ainda recorrido a soluções encontradas em sites de empresas comercializadoras (descrição orçamental no Apêndice XII). Implica ainda a consideração dos custos das energias, sendo que foram utilizados os valores de custo da eletricidade e do gás propano obtidos mediante as faturas energéticas do ano de 2015, onde o custo unitário sem iva do gás propano é de 0,091 €/kWh e da energia elétrica ativa é de 0,148 €/kWh. Visto que esta análise ocorre numa ótica previsional, estão sempre inerentes incertezas relacionadas com as previsões, tal como o risco associado a qualquer projeto de investimento. Para os parâmetros económicos teve-se em consideração a situação atual do país. Posto isto, na análise económica considerou-se uma taxa de inflação de 1,5 %, uma taxa de juro de 3 %, e uma análise a vinte anos para a TIR e o VAL. Os critérios utilizados para a análise da viabilidade económica e da comparação entre cenários de reabilitação foram a obtenção de um PRC menor ou igual a vinte anos e de um VAL positivo. A rentabilidade dos cenários desenvolvidos foi analisada para valores de TIR maior ou igual a 3 % com um VAL positivo.

5.1 ANÁLISE INDEPENDENTE DAS MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA

Para a análise enunciada serão detalhadas várias medidas de racionalização energética. Antes da apresentação dessas medidas, analisou-se os gráficos dos maiores consumidores energéticos do Complexo Escolar, para assim se poder otimizar e proporcionar maior eficiência aos sistemas instalados. Para além dessa análise, a comparação dos consumos do modelo previsto com os consumos do modelo de referência indica-nos o desempenho dos sistemas para uma dada função, onde se nota que o sistema de climatização, de iluminação e da produção das AQS têm elevado potencial de melhoria. Para além disso, a adoção de sistemas de produção de energia renovável pode traduzir-se numa redução significativa da fatura energética, uma vez que existe uma boa exposição solar, e esta, é compatível com o período de funcionamento do Complexo Escolar. Em seguida, são apresentadas medidas de melhoria analisadas ao nível da envolvente (primeira medida), do sistema de iluminação (segunda medida), da produção de AQS com recurso a fontes renováveis (terceira medida), da produção para autoconsumo de energia elétrica (quarta medida) e dos sistemas de climatização (quinta medida).

Para se proceder à análise do desempenho energético da primeira, segunda e quinta medida, estas foram incorporadas no modelo de simulação. Para a terceira, quarta e quinta medida, recorreu-se à ferramenta de quantificação do contributo de sistemas de aproveitamento de energias renováveis disponibilizada pelo DGEG – SCE.ER.

5.1.1 PRIMEIRA MEDIDA – ISOLAMENTO TÉRMICO DA COBERTURA

Com o intuito de verificar o impacto do reforço de isolamento térmico ao nível da cobertura no desempenho térmico do Complexo Escolar, sugere-se a aplicação de uma manta de isolamento em lã de rocha com 100 mm de espessura e com 30 kg/m³ de massa volúmica sobre a laje de esteira das coberturas com desvão dos Blocos A, C e D, perfazendo um total de 1 462 m² de isolamento térmico. Sugere-se ainda na cobertura do posto de socorro, com cerca de 10 m², a colocação pelo interior de poliestireno expandido (EPS), revestido com placas de gesso laminado, do tipo EPS 13A – 80 da *Gyptec* ou equivalente.

Com esta medida pretende-se reduzir as perdas de calor pela cobertura na estação de aquecimento, levando a menores necessidades de aquecimento. Para isso, no modelo

previsto foram alteradas as soluções construtivas dos elementos em causa, tendo-se introduzido os parâmetros apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Parâmetros das soluções construtivas aplicados no modelo de simulação para a primeira medida de melhoria.

PARÂMETROS DA PRIMEIRA MEDIDA DE MELHORIA					
Bloco	Solução Construtiva		Área de Aplicação [m²]	U [W/(m².°C)]	
	Existente	Nova		Existente	Novo
Bloco A	CBI1	MM_CBI1	557,58	2,25	0,375
	CBE1	MM_CBE1	10,30	3,40	0,444
Bloco C	CBI1	MM_CBI1	506,08	2,25	0,375
Bloco D	CBI1	MM_CBI1	398,59	2,25	0,375

Depois da implementação da medida de melhoria, analisaram-se os resultados obtidos, apresentando-se na Tabela 21 os sistemas que sofreram alteração no consumo energético, em relação ao modelo previsto. Como era de esperar, a implementação de isolamento térmico na cobertura reduz a necessidade de aquecimento ambiente, e consequentemente o consumo das bombas circuladoras, embora conduza a um acréscimo das necessidades de arrefecimento ambiente. O resultado final da implementação desta medida de melhoria resulta numa diminuição de consumo de gás propano e num aumento no consumo de eletricidade, de 14,92 % e 0,23 % respetivamente.

Tabela 21 – Resultados das variações dos consumos energéticos com a aplicação da primeira medida de melhoria.

RESULTADOS DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS DA PRIMEIRA MEDIDA DE MELHORIA					
Sistema Consumidor	Fonte de Energia	Consumo [kWh/ano]		Variação do Consumo	
		Modelo Previsto	Medida de Melhoria	Desvio Relativo [%]	
Aquecimento Ambiente	Eletricidade	3,34	0,90	▼	73,05
	Gás Propano	147 291,01	118 459,95	▼	19,57
Arrefecimento Ambiente	Eletricidade	3 120,09	3 670,89	▲	17,65
Bombas da Climatização	Eletricidade	7 300,02	6 979,56	▼	4,39
Consumo Total	Eletricidade	88 858,07	89 058,97	▲	0,23
	Gás Propano	193 231,01	164 399,95	▼	14,92

Depois de se obterem os resultados da implementação da medida de melhoria, torna-se possível a avaliação económica e a análise de risco associada a esta medida. Neste contexto, determinou-se o período de retorno de capital numa análise a 20 anos, para uma taxa de inflação de 1,5 % ao ano e para uma taxa de juro de 3 %. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 22, e demonstram ser uma medida viável técnica e economicamente.

Tabela 22 – Indicadores económicos da primeira medida de racionalização energética.

Indicadores Económicos	
Investimento Inicial	15 097,88 €
Poupança	2 589,90 €
Período de Retorno de Capital (PRC)	6 anos e 1 mês
Taxa de Inflação	1,50 %
Taxa de Juro	3,00 %
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	18,06 %
Valor Atualizado Líquido (VAL)	29 464,45 €

5.1.2 SEGUNDA MEDIDA – SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

A segunda medida de melhoria sugerida corresponde à alteração do sistema de iluminação interior e exterior. Uma vez que a tecnologia associada ao sistema de iluminação implementado no Complexo Escolar é pouco eficiente face a outras tecnologias disponíveis no mercado, sugere-se a substituição desse sistema por soluções de tecnologia LED, que se destacam pela sua elevada eficiência. Para além da substituição de parte das armaduras por armaduras novas, está prevista a instalação de sensores de deteção de movimento e luz natural onde, com uma abordagem *retrofit*, ou seja, a substituição de uma tecnologia de lâmpadas por outra mais eficiente, se pretende tirar o máximo partido de soluções sustentáveis. Neste contexto, existe a necessidade de garantir requisitos mínimos para a densidade de potência de iluminação, os níveis de iluminância, o controlo de encadeamento, o índice de restituição cromática, a uniformidade por cada zona de tarefa e na aplicação de sistemas de controlo. A adoção desta medida carece de estudo luminotécnico prévio, para aferição dos requisitos enunciados para cada espaço. Posto isto, pretende-se com a implementação desta medida manter ou melhorar os níveis atuais de iluminação, com uma menor potência elétrica instalada, contribuindo desta forma para o aumento da eficiência energética do edifício.

Para se verificar o impacto da medida de melhoria, começou-se por analisar o sistema instalado, o qual é maioritariamente constituído por lâmpadas fluorescentes tubulares T8. Assim, sugere-se a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 36 W por lâmpadas tubulares T8 LED de 20 W, e a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 58 W por lâmpadas tubulares T8 LED de 25 W. O mapa de quantidades de lâmpadas e designações das soluções propostas são apresentados na Tabela 23. Para se atingir o objetivo de manter ou aumentar a qualidade de iluminação, foi necessário em certos espaços acrescentar luminárias. Com vista à otimização do sistema de iluminação prevê-se a implementação de sensores de movimento, para evitar o funcionamento das lâmpadas quando não é necessário e, a implementação de relógios horários nos quadros elétricos, para possibilitar a programação da ativação/desativação do sistema.

Tabela 23 – Apresentação do mapa de quantidades e a designação das lâmpadas sugeridas na segunda medida de melhoria.

APRESENTAÇÃO DAS LÂMPADAS SUGERIDAS NA SEGUNDA MEDIDA DE MELHORIA				
Designação	Quantidade	Potência [W]	Fluxo Luminoso [lm]	Temperatura da cor [K]
Bloco A				
Philips Master LedTube 1 200mm UO 20W 840 T8 Rot – 4 000K	98	20	2 500	4 000
Philips Master LedTube 1 500mm UO 25W 840 T8 Rot – 4 000K	98	25	3 700	4 000
LED E27 B5 T3 3U 220V 9W	6	9	730	6 000
Bloco C				
Philips Master LedTube 1 200mm UO 20W 840 T8 Rot – 4 000K	40	20	2 500	4 000
Philips Master LedTube 1 500mm UO 25W 840 T8 Rot – 4 000K	121	25	3 700	4 000
TRLB 04 06064 – 05 DE 5040 lm	52	42	3 330	4 000
Bloco D				
Philips Master LedTube 1 200mm UO 20W 840 T8 Rot – 4 000K	32	20	2 500	4 000
Philips Master LedTube 1 500mm UO 25W 840 T8 Rot – 4 000K	39	25	3 700	4 000
Pavilhão				
Philips Master LedTube 1 200mm UO 20W 840 T8 Rot – 4 000K	35	20	2 500	4 000
Philips Master LedTube 1 500mm UO 25W 840 T8 Rot – 4 000K	64	25	3 700	4 000
LED E27 B5 T3 3U 220V 9W	8	9	730	6 000

APRESENTAÇÃO DAS LÂMPADAS SUGERIDAS NA SEGUNDA MEDIDA DE MELHORIA

Designação	Quantidade	Potência [W]	Fluxo Luminoso [lm]	Temperatura da cor [K]
Portaria 1				
LED E27 B5 T3 3U 220V 9W	2	9	730	6 000
Iluminação Exterior				
Philips Master LedTube 1 200mm UO 20W 840 T8 Rot – 4 000K	10	20	2 500	4 000
Philips Master LedTube 1 500mm UO 25W 840 T8 Rot – 4 000K	1	25	3 700	4 000
LED E27 B5 T3 3U 220V 9W	24	9	730	6 000
Corn E27 25W	25	25	2 250	6 000

No modelo de simulação foram incorporadas as densidades de potência que caracterizam o sistema de iluminação sugerido, apresentando-se na Tabela 24 os seus valores por cada zona térmica. Com esta medida de melhoria é expectável que as necessidades de aquecimento aumentem, uma vez que, aliado à boa eficiência da tecnologia LED, está uma redução da emissão de radiação para o espaço. Para além disso, prevê-se a redução do consumo energético representado pelo sistema de iluminação, podendo haver uma diminuição do arrefecimento local.

Tabela 24 – Parâmetros do sistema de iluminação aplicados no modelo de simulação para a segunda medida de melhoria.

PARÂMETROS DA SEGUNDA MEDIDA DE MELHORIA			
Iluminação Interior			
Bloco	Zona	Designação dos Espaço	Densidade [W/m²]
Bloco A	Z01	Instalações Sanitárias	3,266
	Z02	Arquivo BE	4,484
	Z03	Sala de Pessoal	4,117
	Z04	Cozinha	Manter
	Z05	UEEA	6,791
	Z06	Corredor	1,824
	Z07	Servidor	5,653
	Z08	Concelho Executivo	6,607
	Z09	CAF	4,540
	Z10	Arrumo	3,419
	Z11	Biblioteca	4,285

PARÂMETROS DA SEGUNDA MEDIDA DE MELHORIA			
Iluminação Interior			
Bloco	Zona	Designação dos Espaço	Densidade [W/m²]
Bloco A	Z12	Bar	4,751
	Z13	Sala de aulas 1.0	6,985
	Z14	Corredor Central	3,101
	Z15	Sala Professores	5,002
	Z16	Reprografia/Papelaria	5,905
	Z17	Salas de Aulas 1.1	6,982
	Z18	Corredor Lateral	4,171
	Z19	Sala de Aulas1.3	5,670
	Z20	Sala de Aulas 1.2	4,589
Bloco C	Z01	Hall	5,253
	Z02	Elevador	4,717
	Z03	SalasEB1	7,059
	Z04	Salas de Ciências	7,320
	Z05	Corredor	2,407
	Z06	Sala EVT	8,235
	Z07	Salas 1Piso	7,954
	Z08	Sala música	6,857
	Z09	Gabinete	7,296
Bloco D	Z01	Cozinha	5,846
	Z02	Refeitório	3,226
	Z03	Caldeira	4,166
	Z04	I.S. refeitório	3,466
Pavilhão	Z01	Corredor	2,043
	Z02	Sala professores	4,679
	Z03	Pavilhão	14,483
	Z04	Balneários	4,117
	Z05	Zonas Técnicas	1,107
	Z06	Sala de Formação	5,959
Portaria 1	Z01	Portaria 1	4,306
Portaria 2	Z01	Portaria 2	Manter
Iluminação Exterior			
Potência Instalada [W]			1 066

Depois da implementação da medida de melhoria, analisaram-se os resultados obtidos (Tabela 25), onde se confirmam as previsões anteriormente enunciadas. É de notar que a redução no consumo energético da iluminação interior é de 53 % e da iluminação exterior é de 66 %, correspondendo a uma redução global no consumo de eletricidade de 29 % e um aumento do consumo de gás propano de 6 %.

Tabela 25 – Resultados das variações dos consumos energéticos com a aplicação da segunda medida de melhoria.

RESULTADOS DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS DA SEGUNDA MEDIDA DE MELHORIA					
Sistema Consumidor	Fonte de Energia	Consumo [kWh/ano]		Variação do Consumo	
		Modelo Previsto	Medida de Melhoria	Desvio Relativo [%]	
Aquecimento Ambiente	Eletricidade	3,34	3,59	▲	7,49
	Gás Propano	147 291,01	158 932,73	▲	7,90
Arrefecimento Ambiente	Eletricidade	3 120,09	2 758,53	▼	11,59
Iluminação Interior	Eletricidade	32 550,11	15 404,77	▼	52,67
Iluminação Exterior	Eletricidade	12 429,85	4 211,77	▼	66,12
Bombas da Climatização	Eletricidade	7 300,02	7 397,04	▲	1,33
Consumo Total	Eletricidade	88 858,07	63 230,36	▼	28,84
	Gás Propano	193 231,01	204 872,73	▲	6,02

Depois de se obterem os resultados da implementação da medida de melhoria, torna-se possível a avaliação económica e a análise de risco associada a esta medida. Neste contexto, determinou-se o período de retorno de capital numa análise a 20 anos, para uma taxa de inflação de 1,5 % ao ano e para uma taxa de juro de 3 %. Para além disso, entrou-se em linha de conta com um custo acrescido para a manutenção, de 50 € por ano. Os resultados da Tabela 26 demonstram um elevado tempo de retorno de capital, onde embora a medida seja viável economicamente, torna-se uma medida pouco apelativa ao investimento.

Tabela 26 – Indicadores económicos da segunda medida de racionalização energética.

Indicadores Económicos	
Investimento Inicial	44 430,00 €
Custos de Manutenção	50,00 €
Poupança	2 733,51 €
Período de Retorno de Capital (PRC)	19 anos e 1 mês
Taxa de Inflação	1,50 %
Taxa de Juro	3,00 %
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	3,40 %
Valor Atualizado Líquido (VAL)	1 755,69 €

5.1.3 TERCEIRA MEDIDA – SISTEMA SOLAR TÉRMICO

A terceira medida de racionalização energética a ser analisada é a implementação de dois sistemas solares térmicos de circulação forçada para o Bloco D e para o Pavilhão, uma vez que existem elevadas necessidades diárias de água quente, para a preparação das refeições do refeitório e para os banhos nos balneários.

Com o(s) sistema(s) solar(es) térmico(s) pretende-se aproveitar a radiação solar para o aquecimento de água. Neste sentido, é preconizado a análise de um sistema solar térmico de circulação forçada, que é constituído por painéis solares térmicos, um termoacumulador, um grupo hidráulico e sistemas de ligação. Neste caso, o termoacumulador e o grupo hidráulico são colocados num local protegido e os painéis solares instalados em local com elevada exposição solar, normalmente orientados a sul. Os painéis são ligados, por uma canalização em tubos de cobre, à serpentina do termoacumulador, onde circula uma mistura de água com a adição de anticongelante, que permutará calor com a água deste. A mistura de fluído presente no circuito fechado do painel circulará, por ajuda mecânica do grupo hidráulico, conforme as condições de temperatura do mesmo sejam favoráveis à transferência de calor.

Para a preparação das AQS da cozinha do refeitório sugere-se a instalação de quatro painéis solares na cobertura do Bloco D e um termoacumulador na zona técnica das caldeiras. Preconizou-se o estudo com os painéis da marca *ROTEX Solaris panels V 26 P*, com uma área de absorção unitária de 2,36 m², de dimensões 2 000 (A) x 1 300 (L) x 85 (P) (mm), incluindo a estrutura de suporte e o termoacumulador da *ROTEX Sanicube Solaris SCS 538/16/0*, com uma capacidade de 500 L, tal como todos os meios auxiliares

e componentes necessários para garantir o seu bom funcionamento na ligação à instalação existente. Para os balneários do Pavilhão foi preconizado o mesmo sistema, para a produção das AQS, mas neste caso os painéis ficam na cobertura do Pavilhão e o termoacumulador fica na zona técnica das caldeiras desse bloco. Com o recurso à ferramenta de cálculo disponibilizada pelo DGEG, SCE.ER, versão 1.3.1 de 30/05/2016, foi possível calcular a contribuição energética associada à parcela renovável, apresentando-se os seus resultados na Tabela 27. Para o Bloco D não foram sugeridos a colocação de mais painéis devido a falta de espaço para a sua aplicação.

Tabela 27 – Cálculo da produção de energia térmica o sistema solar térmico.

DESEMPENHO DO SISTEMA SOLAR TÉRMICO			
Bloco	Necessidade de AQS	Parcela solar [kWh/ano]	Parcela do apoio
Bloco D	21 411	5 864	15 547
Pavilhão	9 917	5 546	4 371

Com estes resultados é possível servir o Bloco D com 27 % de energia térmica com recurso a uma fonte renovável, sendo o restante satisfeito com o recurso ao esquentador existente. Para o Pavilhão, uma vez que tem menores necessidades de produção de AQS, é possível servir 56 % das suas necessidades, sendo o restante obtido pela caldeira existente. Para se analisar o impacto desta medida, apresentam-se as variações dos consumos energéticos na Tabela 28, onde é possível verificar uma redução global no consumo de gás propano, 5,9 %, e um ligeiro aumento no consumo de eletricidade, 0,41 %.

Tabela 28 – Resultados das variações dos consumos energéticos com a aplicação da terceira medida de melhoria.

RESULTADOS DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS DA TERCEIRA MEDIDA DE MELHORIA					
Sistema Consumidor	Fonte de Energia	Consumo [kWh/ano]		Variação do Consumo	
		Modelo Previsto	Medida de Melhoria	Desvio Relativo [%]	
AQS	Eletricidade	612,13	612,13	-	-
	Gás Propano	31 327,37	19 918,00	▼	36,42
Bombas do SST	Eletricidade	-	361,00	▲	(5)
Consumo Total	Eletricidade	88 858,07	89 219,07	▲	0,41
	Gás Propano	193 231,01	181 821,63	▼	5,90

Depois de se obterem os resultados da implementação da medida de melhoria, torna-se possível a avaliação económica e a análise de risco associada a esta medida. Neste contexto, determinou-se o período de retorno de capital numa análise a 20 anos, para uma taxa de inflação de 1,5 % ao ano e para uma taxa de juro de 3 %. Para além disso, entrou-se em linha de conta com um custo acrescido para a manutenção, de 100 € por ano. Os resultados da Tabela 29 demonstram um elevado tempo de retorno de capital, onde embora a medida seja viável economicamente, torna-se uma medida pouco apelativa ao investimento.

Tabela 29 – Indicadores económicos da terceira medida de racionalização energética.

Indicadores Económicos	
Investimento Inicial	14 110,40 €
Custos de Manutenção	100,00 €
Poupança	984,83 €
Período de Retorno de Capital (PRC)	19 anos e 2 meses
Taxa de Inflação	1,50 %
Taxa de Juro	3,00 %
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	3,81 %
Valor Atualizado Líquido (VAL)	1 139,53 €

(5) Não avaliado, uma vez que se trata de um equipamento inexistente no modelo previsto.

5.1.4 QUARTA MEDIDA – SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

A quarta medida de racionalização energética a ser analisada é a implementação de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo no Bloco A, para reduzir as necessidades de consumo de energia elétrica da rede.

No sistema fotovoltaico aproveita-se a radiação solar para a produção de eletricidade. Este sistema necessita de painéis fotovoltaicos, um inversor de corrente, reguladores de carga, proteções para a rede elétrica e cabos elétricos. O painel fotovoltaico é capaz de gerar corrente contínua (CC), que por sua vez é convertida, pelo inversor de corrente, para corrente alternada (CA) para poder ser utilizada para autoconsumo pelos equipamentos elétricos existentes. Caso no momento de produção de eletricidade não exista consumo elétrico, este excedente é injetado na rede de distribuição, podendo ser remunerado.

Sugere-se a aplicação dos painéis numa estrutura metálica fixa na cobertura orientada a sul do Bloco A. Preconizou-se o estudo com a instalação de 30 módulos fotovoltaicos da marca REC e modelo *Small Power 260 PE* (50,1 m²), organizados em 2 fileiras (*strings*), com inclinação de 40° e orientação 0°, e um bloco de inversão e controlo *Kaco Powador 12.0TL3*. Uma vez que na folha de cálculo do SCE.ER não existe este módulo fotovoltaico específico, optou-se por escolher um com as características técnicas idênticas, para os resultados obtidos serem representativos do estudo sugerido. O módulo utilizado na ferramenta de cálculo foi o OpenRenewables 255 – PQ, apresentando-se as diferenças entre estes dois painéis na Tabela 93 do Apêndice XI. Os resultados obtidos do SCE.ER estão representados na Tabela 30.

Tabela 30 – Cálculo da produção de energia elétrica do sistema fotovoltaico.

DESEMPENHO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	
Energia Solar Incidente	52 906 kWh/ano
Potencial de Produção Fotovoltaica (CC)	7 818 kWh/ano
Perdas do Sistema (CC)	-210 kWh/ano
Perdas e Consumos Parasitas (CA)	-318 kWh/ano
Produção (CA)	7 008 kWh/ano
Autoconsumo (CA)	6 274 kWh/ano

Existem grandes necessidades elétricas no Complexo Escolar, sendo que o sistema fotovoltaico proposto apenas poderá reduzir 7,06 % do consumo do modelo previsto. Para

a potência instalada (7,8 kW) e o número de painéis sugeridos, teve-se em conta o espaço existente na cobertura do Bloco A e o “consumo permanente” do edifício, pois caso contrário existiria um desperdício muito grande de energia produzida.

Depois de se obterem os resultados da implementação da medida de melhoria, torna-se possível a avaliação económica e a análise de risco associada a esta medida. Neste contexto, determinou-se o período de retorno de capital numa análise a 20 anos, para uma taxa de inflação de 1,5 % ao ano e para uma taxa de juro de 3 %. Para além disso, entrou-se em linha de conta com um custo acrescido para a manutenção, de 50 € por ano. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 31, e demonstram que a medida não é viável economicamente.

Tabela 31 – Indicadores económicos da quarta medida de racionalização energética.

Indicadores Económicos	
Investimento Inicial	17 199,20 €
Custos de Manutenção	50,00 €
Poupança	928,55 €
Período de Retorno de Capital (PRC)	23 anos e 3 meses
Taxa de Inflação	1,50 %
Taxa de Juro	3,00 %
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	1,72 %
Valor Atualizado Líquido (VAL)	-2 069,93 €

5.1.5 QUINTA MEDIDA – SISTEMA DE AR CONDICIONADO

A quinta medida de racionalização energética a ser analisada é a implementação de um sistema de climatização do tipo *multi-split*, bomba de calor de expansão direta e condensação a ar, no espaço designado por CAF do piso 0 do Bloco A. Esta medida tem como intuito garantir o conforto térmico dos utilizadores, num espaço que tem uma utilização intermitente, não sendo por isso viável a sua climatização com recurso ao sistema centralizado. Assim, sugere-se a instalação de uma unidade de ar condicionado, com a combinação *Mitsubishi MXZ-3D68VA* (unidade exterior) com possibilidade de ligar até 3 unidades interiores, do tipo mural *MSZ-SF25VE*. A determinação da contribuição de energia renovável para o modelo previsto foi obtida mediante a utilização da ferramenta SCE.ER, apresentando-se os resultados obtidos na Tabela 32.

Tabela 32 – Cálculo da contribuição de energia renovável.

DESEMPENHO DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO	
SPF	2,7
Q_{usable}	10 320 kWh
E_{Ren}	6 497,78 kWh/ano

O impacto da implementação desta medida de melhoria reflete-se na redução do consumo energético associado ao arrefecimento ambiente, contribuindo ainda com uma componente renovável no desempenho energético do edifício. Para além disso, proporciona maior conforto térmico para o espaço da CAF e consegue reduzir o consumo de gás propano em cerca de 1,52 % apesar de o consumo de eletricidade sofrer um ligeiro aumento. Na Tabela 33 é apresentado o impacto desta medida.

Tabela 33 – Resultados das variações dos consumos energéticos com a aplicação da quinta medida de melhoria.

RESULTADOS DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS DA QUINTA MEDIDA DE MELHORIA				
Sistema Consumidor	Fonte de Energia	Consumo [kWh/ano]		Variação do Consumo
		Modelo Previsto	Medida de Melhoria	Desvio Relativo [%]
Aquecimento Ambiente	Eletricidade	3,34	378,03	▲ ⁽⁶⁾
	Gás Propano	147 291,01	144 346,44	▼ 2,00
Arrefecimento Ambiente	Eletricidade	3 120,09	3 073,21	▼ 1,50
Bombas da Climatização	Eletricidade	7 300,02	7 297,08	▼ 0,04
Consumo Total	Eletricidade	88 858,07	89 182,94	▲ 0,37
	Gás Propano	193 231,01	190 286,44	▼ 1,52

Depois de se obterem os resultados da implementação da medida de melhoria, torna-se possível a avaliação económica e a análise de risco associada a esta medida. Neste contexto, determinou-se o período de retorno de capital numa análise a 20 anos, para uma taxa de inflação de 1,5 % ao ano e para uma taxa de juro de 3 %. Para além disso, entrou-se em linha de conta com um custo acrescido para a manutenção, de 50 € por ano.

⁽⁶⁾ Não avaliado, uma vez que se trata de um equipamento inexistente no modelo previsto.

Os resultados da Tabela 34 demonstram um elevado tempo de retorno de capital, onde embora a medida seja viável economicamente, torna-se uma medida pouco apelativa ao investimento.

Tabela 34 – Indicadores económicos da quinta medida de racionalização energética.

Indicadores Económicos	
Investimento Inicial	2 896,10 €
Custos de Manutenção	50,00 €
Poupança	219,88 €
Período de Retorno de Capital (PRC)	19 anos e 8 meses
Taxa de Inflação	1,50 %
Taxa de Juro	3,00 %
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	3,14 %
Valor Atualizado Líquido (VAL)	39,53 €

5.1.6 OUTRAS MEDIDAS

Para além das medidas sugeridas existem outros potenciais de melhoria, os quais estão relacionados com os hábitos dos utilizadores do Complexo Escolar. Uma destas medidas tem a ver com a utilização das caldeiras para o aquecimento ambiente, um dos grandes consumidores de energia. Do que foi possível verificar, o sistema de aquecimento ambiente encontra-se bem dimensionado e em bom estado de funcionamento, como já referido, mas o seu período de funcionamento proporciona uma má utilização do sistema afetando a sua eficiência. A utilização do sistema de aquecimento ambiente durante o período de ocupação permite melhorar a eficiência do sistema e aumentar o conforto dos utilizadores. Para além disso, os aquecedores elétricos presentes em muitos dos espaços do Complexo Escolar passariam a não serem utilizados. Posto isto, sugere-se a não utilização dos aquecedores elétricos e a utilização do sistema de aquecimento ambiente aquando a sua ocupação, ou seja, funcionando das 7:00 h às 16:00 h. Para se verificar o impacto da sugestão de mudança de hábitos, no modelo de simulação alterou-se o horário de funcionamento da caldeira, retiraram-se os aquecedores elétricos e modificou-se o rendimento da caldeira. Para o rendimento da caldeira optou-se por utilizar um valor típico deste tipo de sistema de 75 %, o qual se obteve segundo as regras de simplificação [39].

Dos resultados obtidos foi possível verificar que o aumento do consumo de gás propano e a redução do consumo de eletricidade resultam num balanço praticamente nulo em termos de faturação energética. No entanto ressalva-se que esta medida contribui para o aumento do conforto dos ocupantes, mantendo uma temperatura de conforto ao longo de todo o período de utilização do edifício.

5.2 DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

Com a apresentação dos cenários de reabilitação energética pretende-se verificar a influência da conjugação das várias medidas apresentadas. Quando se incorpora mais do que uma medida de melhoria, o impacto no desempenho energético não é linear, visto que se pode estar a afetar mais do que um parâmetro energético. Pretende-se apresentar o comportamento energético destes cenários, para posteriormente se analisar a viabilidade económica e impacto na classe energética alcançada com a sua implementação.

Antes de se desenvolver qualquer tipo de cenário de reabilitação energética, pretende-se criar uma avaliação qualitativa com as várias medidas apresentadas. Com

esta avaliação, tem-se o propósito de criar critérios para a conjunção de medidas e posterior estudo do seu desempenho energético. Para uma melhor interpretação é apresentada na Tabela 35 a síntese das variações dos consumos energéticos das medidas apresentadas.

Tabela 35 – Resumo da variação dos consumos energéticos com a aplicação de medidas de racionalização de energia.

RESUMO DA VARIAÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS COM A APLICAÇÃO DAS MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA						
Sistema Consumidor	Fonte de Energia	Variação dos Consumos das Medidas [%]				
		Primeira	Segunda	Terceira	Quarta	Quinta
Aquecimento Ambiente	Elétrica	▼ 73,05	▲ 7,49	-	-	▲
	Gás Propano	▼ 19,57	▲ 7,90	-	-	▼ 2,00
Arrefecimento Ambiente	Elétrica	▲ 17,65	▼ 11,59	-	-	▼ 1,50
Iluminação Interior	Elétrica	-	▼ 52,67	-	-	-
Iluminação Exterior	Elétrica	-	▼ 66,12	-	-	-
Elevador	Elétrica	-	-	-	-	-
Ventilação	Elétrica	-	-	-	-	-
AQS	Elétrica	-	-	-	-	-
	Gás Propano	-	-	▼ 36,42	-	-
Bombas da Climatização	Elétrica	▼ 4,39	▲ 1,33	-	-	▼ 0,04
Bombas do SST	Elétrica	-	-	▲	-	-
Consumos Tipo T	Elétrica	-	-	-	-	-
	Gás Propano	-	-	-	-	-
Eletricidade		▲ 0,23	▼ 28,84	▲ 0,41	▼ 7,06	▲ 0,37
Gás Propano		▼ 14,92	▲ 6,02	▼ 5,90	-	▼ 1,52
Energia Renovável [kWh/ano]		961,00	961,00	12 371,00	7 235,00	7 458,78

O primeiro critério para a conjugação de medidas pretende favorecer aspetos económicos, onde se pretende dar ênfase a medidas com um TIR superior. Organizando de modo decrescente as medidas de melhoria, no que se refere à TIR, tem-se: Primeira Medida > Terceira Medida > Segunda Medida > Quinta Medida > Quarta Medida.

O segundo critério pretende favorecer as medidas que apresentem um retorno monetário mais rápido, ou seja, as que apresentem um PRC menor. Organizando as medidas de melhoria de modo crescente tem-se: Primeira Medida < Segunda Medida < Terceira Medida < Quinta Medida < Quarta Medida.

O terceiro critério foca-se no custo de investimento inicial necessário para a aplicação das medidas apresentadas. Assim, organizando de modo crescente relativamente ao custo de investimento, tem-se: Quinta Medida < Terceira Medida < Primeira Medida < Quarta Medida < Segunda Medida.

Com estes três critérios económicos foram formulados três cenários de reabilitação energética, de modo a ser possível averiguar o desempenho energético dos mesmos. Como primeiro cenário de reabilitação energética, serão analisadas as duas medidas que fornecem uma TIR mais atrativa para o investidor e, por isso, a conjugação da primeira e terceira medida (aplicação de isolamento térmico na cobertura e de um sistema solar térmico). O segundo cenário de reabilitação pretende avaliar as duas medidas que fornecem um menor PRC, conjugando-se a primeira e segunda medida (aplicação de isolamento térmico na cobertura e de um sistema de iluminação mais eficiente). O terceiro cenário de reabilitação energética tem como intuito avaliar o desempenho energético aliado ao baixo custo de investimento inicial e, para isso, a conjugação da terceira e quinta medida (aplicação de um sistema solar térmico e de um sistema de ar condicionado).

Após a aplicação do primeiro cenário de reabilitação no programa de simulação, aplicação de isolamento térmico na cobertura e de um sistema solar térmico, analisaram-se os dados obtidos (Tabela 36). Com este cenário é possível reduzir o consumo de gás propano em 20,83 %, face ao consumo do modelo previsto, implicando um ligeiro aumento no consumo elétrico de 0,66 %. A contribuição de energia renovável é de 12 371,00 kWh/ano, correspondendo a um IEE_{Ren} de 3,89 kWh_{EP}/m².ano. O consumo das bombas associadas ao sistema de climatização, foram obtidos através da metodologia já enunciada, apresentando os parâmetros na Tabela 95 do Apêndice XI.

Tabela 36 – Resultados do desempenho energético do primeiro cenário.

DESEMPENHO ENERGÉTICO DO PRIMEIRO CENÁRIO DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA					
Sistema Consumidor	Fonte de Energia	Consumo [kWh/ano]		Variação do Consumo	
		Modelo Previsto	Cenário	Desvio Relativo [%]	
Aquecimento Ambiente	Eletricidade	3,34	0,90	▼	73,05
	Gás Propano	147 291,01	118 459,95	▼	19,57
Arrefecimento Ambiente	Eletricidade	3 120,09	3 670,89	▲	17,65
Bombas da Climatização	Eletricidade	7 300,02	6 979,56	▼	4,39
AQS	Eletricidade	612,13	612,13	-	-
	Gás Propano	31 327,38	19 918,00	▼	36,42
Bombas do SST	Eletricidade	-	361,00	▲	⁽⁷⁾
Consumo Total	Eletricidade	88 858,07	89 446,97	▲	0,66
	Gás Propano	193 231,01	152 990,57	▼	20,83

Uma vez que o critério de seleção tinha o intuito de favorecer um maior TIR, com a aplicação deste cenário é possível obter 11,85 % de taxa interna de rentabilidade, representando um bom potencial para investimento. O período de retorno do capital (PRC) do primeiro cenário ocorre aos 9 anos. Na Tabela 37 apresentam-se todos os indicadores económicos resultantes da aplicação do primeiro cenário de reabilitação energética, demonstrando que o cenário é viável economicamente.

Tabela 37 – Indicadores económicos do primeiro cenário de reabilitação energética.

Indicadores Económicos	
Investimento Inicial	29 208,28 €
Custos de Manutenção	100,00 €
Poupança	3 574,72 €
Período de Retorno de Capital (PRC)	9 anos
Taxa de Inflação	1,50 %
Taxa de Juro	3,00 %
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	11,85 %
Valor Atualizado Líquido (VAL)	30 603,97 €

⁽⁷⁾ Não avaliado, uma vez que se trata de um equipamento inexistente no modelo previsto.

No que diz respeito ao segundo cenário de reabilitação energética, com a aplicação do isolamento sobre a cobertura e um sistema de iluminação mais eficiente é possível reduzir os consumos energéticos tanto de gás propano como de eletricidade, de 9,25 % e 28,55 % respetivamente. Os resultados do desempenho energético do segundo cenário podem ser visualizados na Tabela 38. Neste caso a contribuição de energia renovável é de 961,00 kWh/ano, correspondendo a um IEE_{Ren} de 0,68 kWh_{EP}/m².ano. O consumo das bombas associadas ao sistema de climatização, foram obtidos através da metodologia já enunciada, apresentando os parâmetros na Tabela 95 do Apêndice XI.

Tabela 38 – Resultados do desempenho energético do segundo cenário.

DESEMPENHO ENERGÉTICO DO SEGUNDO CENÁRIO DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA					
Sistema Consumidor	Fonte de Energia	Consumo [kWh/ano]		Variação do Consumo	
		Modelo Previsto	Cenário	Desvio Relativo [%]	
Aquecimento Ambiente	Eletricidade	3,34	1,00	▼	70,06
	Gás Propano	147 291,01	129 414,71	▼	12,14
Arrefecimento Ambiente	Eletricidade	3 120,09	3 235,49	▲	3,70
Iluminação Interior	Eletricidade	32 550,11	15 404,77	▼	52,67
Iluminação Exterior	Eletricidade	12 429,85	4 211,77	▼	66,12
Bombas da Climatização	Eletricidade	7 300,02	7 179,48	▼	1,65
Consumo Total	Eletricidade	88 858,07	63 487,17	▼	28,55
	Gás Propano	193 231,01	175 354,71	▼	9,25

Uma vez que o critério de seleção das medidas era favorecer um menor PRC, com a aplicação do segundo cenário foi possível obter um retorno do capital investido, tendo em conta a variação da moeda, de 12 anos e 3 meses. Na Tabela 39 são apresentados os parâmetros económicos do segundo cenário de reabilitação energética, sendo possível verificar sua viabilidade económica.

Tabela 39 – Indicadores económicos do segundo cenário de reabilitação energética.

Indicadores Económicos	
Investimento Inicial	59 527,88 €
Custos de Manutenção	50,00 €
Poupança	5 381,64 €
Período de Retorno de Capital (PRC)	12 anos e 3 meses
Taxa de Inflação	1,50 %
Taxa de Juro	3,00 %
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	7,93 %
Valor Atualizado Líquido (VAL)	32 222,13 €

Em relação ao terceiro cenário, que corresponde à implementação de um sistema solar térmico para produção de AQS e um sistema de ar condicionado no espaço da CAF, os resultados obtidos para o desempenho energético realçam uma diminuição no consumo de gás propano de 7,43 % e um ligeiro aumento no consumo de eletricidade de 0,77 %, face aos consumos do modelo previsto. Os resultados do desempenho energético do terceiro cenário podem ser visualizados na Tabela 40. Para além disso, com a implementação deste cenário obtém-se uma contribuição de energia renovável de 18 868,78 kWh/ano, correspondendo a um IEE_{Ren} de 8,47 kWh_{EP}/m².ano. Este cenário incide em medidas de racionalização energética com uma vertente renovável, dando ênfase a medidas de carácter sustentável. O consumo das bombas associadas ao sistema de climatização, foram obtidos através da metodologia já enunciada, apresentando os parâmetros na Tabela 95 do Apêndice XI.

Tabela 40 – Resultados do desempenho energético do terceiro cenário.

DESEMPENHO ENERGÉTICO DO TERCEIRO CENÁRIO DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA				
Sistema Consumidor	Fonte de Energia	Consumo [kWh/ano]		Variação do Consumo
		Modelo Previsto	Cenário	Desvio Relativo [%]
Aquecimento Ambiente	Eletricidade	3,34	378,03	▲ ⁽⁸⁾
	Gás Propano	147 291,01	144 346,44	▼ 2,00
Arrefecimento Ambiente	Eletricidade	3 120,09	3 073,21	▼ 1,50
Bombas da Climatização	Eletricidade	7 300,02	7 297,08	▼ 0,04
AQS	Eletricidade	612,13	612,13	- -
	Gás Propano	31 327,38	19 918,00	▼ 36,42
Bombas do SST	Eletricidade	-	361,00	▲ ⁽⁸⁾
Consumo Total	Eletricidade	88 858,07	89 543,94	▲ 0,77
	Gás Propano	193 231,01	178 877,06	▼ 7,43

O critério de seleção das medidas permitiu favorecer um menor investimento inicial, onde da conjugação da terceira e quinta medida resulta o menor custo de investimento, de 17 006,50 €. Os vários indicadores económicos analisados estão presentes na Tabela 41, demonstrando um elevado tempo de retorno de capital, pelo que, embora o cenário seja viável economicamente, torna-se pouco apelativo ao investimento.

Tabela 41 – Indicadores económicos do terceiro cenário de reabilitação energética.

Indicadores Económicos	
Investimento Inicial	17 006,50 €
Custos de Manutenção	150,00 €
Poupança	1 204,70 €
Período de Retorno de Capital (PRC)	18 anos e 6 meses
Taxa de Inflação	1,50 %
Taxa de Juro	3,00 %
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	3,70 %
Valor Atualizado Líquido (VAL)	1 179,05 €

⁽⁸⁾ Não avaliado, uma vez que se trata de um equipamento inexistente no modelo previsto.

Depois da análise dos três cenários de reabilitação energética com critérios de seleção meramente económicos, pretende-se agora dar destaque ao desempenho energético e à redução dos consumos energéticos. Posto isto, tem-se o objetivo de avaliar a conjugação de medidas que apresentem as mesmas tendências na variação dos consumos energéticos. Recorrendo novamente à Tabela 35, verifica-se que a primeira, terceira e quinta medidas apresentam a mesma tendência na variação dos consumos energéticos. Embora apresentem a mesma tendência, quando avaliadas em conjunto podem ter comportamentos diferentes, ou de pouca relevância, quando comparadas com o efeito das mesmas individualmente. Assim, o quarto cenário é constituído pela aplicação de isolamento térmico na cobertura, de um sistema solar térmico e de um sistema de ar condicionado.

Para o quarto cenário, os resultados obtidos para o desempenho energético são apresentados na Tabela 42, representando a tendência na variação dos consumos energéticos expectável. Deste modo, é possível averiguar que estas três medidas de melhoria quando aplicadas em conjunto acentuam a tendência na variação dos consumos quando comparadas individualmente. No seu global, possibilitam a redução do consumo de gás propano, em 22,29 %, e um ligeiro aumento no consumo de eletricidade, de 1,13 %, face ao consumo do modelo previsto. Para além disso, com a implementação deste cenário obtém-se uma contribuição de energia renovável de 18 868,78 kWh/ano, correspondendo a um IEE_{Ren} de 8,47 kWh_{EP}/m².ano. O consumo das bombas associadas ao sistema de climatização, foram obtidos através da metodologia já enunciada, apresentando os parâmetros na Tabela 95 do Apêndice XI.

Tabela 42 – Resultados do desempenho energético do quarto cenário.

DESEMPENHO ENERGÉTICO DO QUARTO CENÁRIO DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA				
Sistema Consumidor	Fonte de Energia	Consumo [kWh/ano]		Variação do Consumo
		Modelo Previsto	Cenário	Desvio Relativo [%]
Aquecimento Ambiente	Eletricidade	3,34	345,01	▲ ⁽⁹⁾
	Gás Propano	147 291,01	115 638,26	▼ 21,49
Arrefecimento Ambiente	Eletricidade	3 120,09	3 657,43	▲ 17,22
Bombas da Climatização	Eletricidade	7 300,02	7 061,88	▼ 3,26
AQS	Eletricidade	612,13	612,13	- -
	Gás Propano	31 327,38	19 918,00	▼ 36,42
Bombas do SST	Eletricidade	-	361,00	▲ ⁽⁹⁾
Consumo Total	Eletricidade	88 858,07	89 859,94	▲ 1,13
	Gás Propano	193 231,01	150 168,88	▼ 22,29

O quarto cenário de reabilitação energética apresenta os indicadores da análise económica da Tabela 43. Com estes indicadores é possível demonstrar que o cenário é viável economicamente, conseguindo um retorno de investimento em, aproximadamente, 9 anos e 6 meses.

Tabela 43 – Indicadores económicos do quarto cenário de reabilitação energética.

Indicadores Económicos	
Investimento Inicial	32 104,38 €
Custos de Manutenção	150,00 €
Poupança	3 770,38 €
Período de Retorno de Capital (PRC)	9 anos 6 meses
Taxa de Inflação	1,50 %
Taxa de Juro	3,00 %
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	11,06 %
Valor Atualizado Líquido (VAL)	30 226,75 €

⁽⁹⁾ Não avaliado, uma vez que se trata de um equipamento inexistente no modelo previsto.

De modo a se proporcionar uma maior redução nos consumos energéticos, pretende-se verificar o impacto da aplicação de todas as medidas de melhoria apresentadas. Assim, o quinto cenário de reabilitação energética apresentado é a implementação do isolamento térmico sobre a laje das coberturas, do sistema de iluminação mais eficiente, do sistema solar térmico e fotovoltaico e do sistema de ar condicionado. Embora o sistema fotovoltaico não apresente viabilidade económica, o seu contributo com energia de origem renovável e no desempenho energético é positivo, pretendendo-se com esta medida atingir um maior desempenho energético para o Complexo Escolar.

Os resultados obtidos ao nível do desempenho energético com a implementação do quinto cenário de reabilitação energética estão apresentados na Tabela 44. Com a implementação de todas as medidas de melhoria é possível a redução do consumo energético de gás propano e de eletricidade face ao modelo previsto, de 17,17 % e 34,72 % respetivamente. Para além disso, com a implementação deste cenário obtém-se uma contribuição de energia renovável de 25 143,56 kWh/ano, correspondendo a um IEE_{Ren} de 12,89 kWh_{EP}/m².ano. O consumo das bombas associadas ao sistema de climatização, foram obtidos através da metodologia já enunciada, apresentando os parâmetros na Tabela 95 do Apêndice XI.

Tabela 44 – Resultados do desempenho energético do quinto cenário.

DESEMPENHO ENERGÉTICO DO QUINTO CENÁRIO DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA					
Sistema Consumidor	Fonte de Energia	Consumo [kWh/ano]		Variação do Consumo	
		Modelo Previsto	Cenário	Desvio Relativo [%]	
Aquecimento Ambiente	Eletricidade	3,34	444,61	▲	(10)
	Gás Propano	147 291,01	125 514,59	▼	14,78
Arrefecimento Ambiente	Eletricidade	3 120,09	3 238,08	▲	3,78
Iluminação Interior	Eletricidade	32 550,11	15 404,77	▼	52,67
Iluminação Exterior	Eletricidade	12 429,85	4 211,77	▼	66,12
Bombas da Climatização	Eletricidade	7 300,02	7 170,66	▼	1,77
AQS	Gás Propano	31 327,38	19 918,00	▼	36,42
Bombas do SST	Eletricidade	-	361,00	▲	(10)
Fotovoltaico	Renovável	-	6 274,00	▲	(10)
Consumo Total	Eletricidade	88 858,07	58 010,76	▼	34,72
	Gás Propano	193 231,01	160 045,21	▼	17,17

Os indicadores económicos para a análise de viabilidade do quinto cenário de reabilitação energética estão referenciados na Tabela 45. No seu conjunto a implementação do cenário é viável economicamente, embora apresente um PRC elevado. Para além disso, este cenário conduz a uma redução considerável dos consumos energéticos do Complexo Escolar.

(10) Não avaliado, uma vez que se trata de um equipamento inexistente no modelo previsto.

Tabela 45 – Indicadores económicos do quinto cenário de reabilitação energética.

Indicadores Económicos	
Investimento Inicial	93 733,58 €
Custos de Manutenção	250,00 €
Poupança	7 585,31 €
Período de Retorno de Capital (PRC)	14 anos e 3 meses
Taxa de Inflação	1,50 %
Taxa de Juro	3,00 %
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	6,28 %
Valor Atualizado Líquido (VAL)	32 542,90 €

5.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CENÁRIOS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

Depois da apresentação de todos os cenários de reabilitação energética tem-se como objetivo comparar qualitativamente estes cenários, demonstrando qual o seu impacto no desempenho energético do Complexo Escolar. Relembrando a constituição dos vários cenários de reabilitação energética tem-se:

- **Primeiro Cenário** – implementação do isolamento térmico na cobertura e do sistema solar térmico;
- **Segundo Cenário** – implementação do isolamento térmico na cobertura e do sistema de iluminação;
- **Terceiro Cenário** – implementação do sistema solar térmico e do sistema de ar condicionado;
- **Quarto Cenário** – implementação do isolamento térmico na cobertura, do sistema solar térmico e do sistema de ar condicionado;
- **Quinto Cenário** – implementação do isolamento térmico na cobertura, do sistema de iluminação, do sistema solar térmico, do sistema fotovoltaico e do sistema de ar condicionado.

De modo a facilitar a análise comparativa entre os vários cenários de reabilitação apresenta-se na Tabela 46 o resumo do impacto na variação dos consumos energéticos.

Tabela 46 – Resumo da variação dos consumos energéticos com a aplicação dos cenários de reabilitação energética.

RESUMO DA VARIAÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS COM A APLICAÇÃO DOS CENÁRIOS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA						
Sistema Consumidor	Fonte de Energia	Variação dos Consumos dos Cenários [%]				
		Primeiro	Segundo	Terceiro	Quarto	Quinto
Aquecimento Ambiente	Elétrica	▼ 73,05	▼ 70,06	▲	▲	▲
	Gás Propano	▼ 19,57	▼ 12,14	▼ 2,00	▼ 21,49	▼ 14,78
Arrefecimento Ambiente	Elétrica	▲ 17,65	▲ 3,70	▼ 1,50	▲ 17,22	▲ 3,78
Iluminação Interior	Elétrica	-	▼ 52,67	-	-	▼ 52,67
Iluminação Exterior	Elétrica	-	▼ 66,12	-	-	▼ 66,12
Elevador	Elétrica	-	-	-	-	-
Ventilação	Elétrica	-	-	-	-	-
AQS	Elétrica	-	-	-	-	-
	Gás Propano	▼ 36,42	-	▼ 36,42	▼ 36,42	▼ 36,42
Bombas da Climatização	Elétrica	▼ 4,39	▼ 1,65	▼ 0,04	▼ 3,26	▼ 1,77
Bombas do SST	Elétrica	▲	-	▲	▲	▲
Consumos Tipo T	Elétrica	-	-	-	-	▼ 19,32
	Gás Propano	-	-	-	-	-
Eletricidade		▲ 0,66	▼ 28,55	▲ 0,77	▲ 1,13	▼ 34,72
Gás Propano		▼ 20,83	▼ 9,25	▼ 7,43	▼ 22,29	▼ 17,17
Energia Renovável [kWh/ano]		12 371,00	961,00	18 868,78	18 868,78	25 143,56

Dos cenários apresentados, os que apresentaram maiores reduções nos consumos energéticos foram o segundo e o quinto cenário. Estas reduções no consumo energético devem-se sobretudo, por um lado, à redução das trocas térmicas com o exterior, conseguida com a incorporação de isolamento térmico sobre a laje da cobertura e, por outro, ao detrimento da tecnologia fluorescente tubular, com a incorporação da tecnologia LED. O quinto cenário apresenta as maiores reduções nos consumos energéticos, apresentando também uma elevada presença de energia proveniente de fontes renováveis, o que possibilita a obtenção de melhores desempenhos energéticos. Os restantes cenários apresentam melhorias significativas no consumo de gás propano e

ligeiros aumentos no consumo de eletricidade. Dos cenários apresentados, o terceiro cenário foi o que apresentou menores reduções nos consumos energéticos e menor potencial económico.

Ao comparar o primeiro e o quarto cenário é possível verificar que a sua implementação, no global, conduz a uma melhoria idêntica do desempenho energético. Verifica-se que ambos os cenários apresentam uma diminuição do consumo de gás propano e um ligeiro aumento do consumo de eletricidade. Com a adição do ar condicionado ao primeiro cenário (quarto cenário), a diminuição do consumo de gás propano é ainda maior, no entanto, o aumento do consumo de eletricidade é também superior. Todas as medidas que constituem estes dois cenários, quando analisadas individualmente, já conduziam a uma diminuição do consumo de gás propano e a um aumento do consumo de eletricidade. Quando conjugadas acentuam estes diferenciais, não correspondendo, contudo, ao somatório dos impactos individuais.

Ao comparar o terceiro e o quarto cenário, a única diferença entre estes é a adição do isolamento térmico na cobertura, o que por si só, apresenta um impacto considerável na redução dos consumos energéticos. A adição de isolamento térmico permitiu reduzir significativamente as necessidades de aquecimento com um ligeiro acréscimo de necessidade de arrefecimento do Complexo Escolar. Para além disso, estes dois cenários apresentam um consumo significativo de energia proveniente de fontes renováveis.

Após a análise dos resultados obtidos existiu a necessidade de verificar qual o desempenho energético da conjugação do quarto cenário de reabilitação energética com a segunda medida de melhoria. Uma vez que o quarto cenário é o que apresenta uma maior redução no consumo de gás propano aliado a um ligeiro aumento no consumo de eletricidade, pretende-se verificar qual a influência de um sistema de iluminação mais eficiente, ao qual estão inerentes elevadas reduções nos consumos elétricos. Existe, assim, a expectativa de obter um bom desempenho energético para o Complexo Escolar.

Neste sentido criou-se um sexto cenário de reabilitação energética com a conjugação do quarto cenário e com a segunda medida de melhoria (implementação do isolamento térmico na cobertura, do sistema de iluminação, do sistema solar térmico e do sistema de ar condicionado). Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 47, respondendo às expectativas delineadas. Assim, foi possível verificar a elevada redução nos consumos energéticos de gás propano e de eletricidade, de 17,17 % e 27,65 %, respetivamente. Este cenário apresenta uma contribuição de energia renovável de 18 868,78 kWh/ano, correspondendo a um E_{Ren} de 8,47. O consumo das bombas

associadas ao sistema de climatização, foram obtidos através da metodologia já enunciada, apresentando os parâmetros na Tabela 95 do Apêndice XI.

Tabela 47 – Resultados do desempenho energético do sexto cenário.

DESEMPENHO ENERGÉTICO DO SEXTO CENÁRIO DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA					
Sistema Consumidor	Fonte de Energia	Consumo [kWh/ano]		Variação do Consumo	
		Modelo Previsto	Cenário	Desvio Relativo [%]	
Aquecimento Ambiente	Eletricidade	3,34	444,61	▲	(11)
	Gás Propano	147 291,01	125 514,59	▼	14,78
Arrefecimento Ambiente	Eletricidade	3 120,09	3 238,08	▲	3,78
Iluminação Interior	Eletricidade	32 550,11	15 404,77	▼	52,67
Iluminação Exterior	Eletricidade	12 429,85	4 211,77	▼	66,12
Bombas da Climatização	Eletricidade	7 300,02	7 170,66	▼	1,77
AQS	Gás Propano	31 327,38	19 918,00	▼	36,42
Bombas do SST	Eletricidade	-	361,00	▲	(11)
Consumo Total	Eletricidade	88 858,07	64 285,54	▼	27,65
	Gás Propano	193 231,01	160 045,21	▼	17,17

O sexto cenário de reabilitação energética apresenta os indicadores da análise económica da Tabela 48. Com estes indicadores é possível demonstrar que o cenário é viável economicamente.

Tabela 48 – Indicadores económicos do sexto cenário de reabilitação energética.

Indicadores Económicos	
Investimento Inicial	76 534,38 €
Custos de Manutenção	200,00 €
Poupança	6 656,64 €
Período de Retorno de Capital (PRC)	13 anos e 1 mês
Taxa de Inflação	1,50 %
Taxa de Juro	3,00 %
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	7,19 %
Valor Presente Líquido (VAL)	34 610,85 €







(11) Não avaliado, uma vez que se trata de um equipamento inexistente no modelo previsto.

Ao comparar o segundo e o sexto cenários de reabilitação energética verifica-se que apresentam uma redução elevada dos consumos energéticos. Embora o segundo cenário apresente um melhor desempenho no consumo elétrico em relação ao sexto cenário, o contrário acontece no consumo de gás propano.

5.4 INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E ECONÓMICO

Com a análise dos resultados obtidos dos vários indicadores económicos e das variações dos consumos energéticos dos cenários de reabilitação, desenvolveram-se os cálculos dos indicadores energéticos, segundo a Equação 1 e Equação 2 discriminadas no Capítulo 2. Todos os indicadores necessários para uma análise técnico-económica estão clarificados na Tabela 49.

Tabela 49 – Resumos dos indicadores de desempenho energético e económico dos cenários de reabilitação energética.

RESUMO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E ECONÓMICO DOS CENÁRIOS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA						
Indicadores	Cenários de Reabilitação Energética					
	Primeiro	Segundo	Terceiro	Quarto	Quinto	Sexto
Indicadores do Desempenho Energético						
IEE_s [kWh _{EP} /m ² .ano]	79,15	67,16	86,51	78,64	63,40	63,40
IEE_T [kWh _{EP} /m ² .ano]	27,01	27,01	27,01	27,01	27,01	27,01
IEE_{Ren} [kWh _{EP} /m ² .ano]	3,89	0,68	8,47	8,47	12,89	8,47
IEE [kWh _{EP} /m ² .ano]	102,26	93,49	105,05	97,18	77,52	81,94
R_{IEE}	0,98	0,86	1,01	0,91	0,65	0,71
Classe Energética						
Indicadores Económicos						
Investimento Inicial [€]	29 208,28	59 527,88	17 006,50	32 104,38	93 733,58	76 534,38
PRC [anos/meses]	9/0	12/3	18/6	9/6	14/3	13/1
TIR [%]	11,85	7,93	3,70	11,06	6,28	7,19
VAL [€]	30 603,97	32 222,13	1 179,05	30 226,75	32 542,90	34 610,85

Com a análise de todos os indicadores de eficiência energética e económicos existem vários cenários que apresentam bom desempenho, uns a nível económico e outros a nível energético. Todos os cenários apresentam viabilidade económica, mas o cenário que apresenta maior rentabilidade económica é o primeiro, conseguindo melhorar a classe energética do Complexo Escolar de C para B⁻. Este facto resulta apenas por um menor tempo de retorno de capital (PRC), visto que os vários cenários apresentam um VAL semelhante entre si. Quanto ao desempenho energético do primeiro cenário, este apresenta uma ligeira melhoria, reduzindo o indicador de eficiência energética em 14,15 kWh_{EP}/m².ano, obtendo um aumento da classe energética em um nível. O cenário que apresenta uma melhoria mais significativa ao nível do desempenho energético é o quinto cenário, conseguindo melhorar a classe energética do Complexo Escolar de C para B (aumento de 2 classes). Este cenário representa um bom desempenho energético para o Complexo Escolar possibilitando a redução do IEE em 38,89 kWh_{EP}/m².ano e a redução do R_{IEE} de 1,16 para 0,65. Quanto ao desempenho económico, este cenário é o que apresenta um maior investimento inicial e os indicadores económicos são pouco aliciantes ao investimento, ou seja, apresenta pouca rentabilidade económica quando comparado com outros cenários. O cenário de reabilitação energética que apresenta menores benefícios, tanto energéticos como económicos, é o terceiro, visto que apresenta o maior PRC, um menor VAL e um menor R_{IEE}, não conduzindo a qualquer alteração na classe energética do Complexo Escolar.

Ao organizarem-se os cenários de reabilitação energética de modo decrescente em termos de viabilidade económica (análise do PRC), obtém-se: Primeiro > Quarto > Segundo > Sexto > Quinto > Terceiro. Ao organizarem-se os cenários de reabilitação energética de modo decrescente, no que diz respeito ao benefício ao nível do desempenho energético do edifício, obtém-se: Quinto > Sexto > Segundo > Quarto > Primeiro > Terceiro. Esta organização permite realçar a tendência inversamente proporcional entre estes dois fatores, caso se descarte da análise o terceiro cenário. Assim, o segundo cenário é o ponto intermédio entre o desempenho energético e o desempenho económico, com um bom desempenho energético (B⁻) e com uma mediana rentabilidade económica, apresentando um PRC de 12 anos e 3 meses.

O intuito do desenvolvimento do sexto cenário era de aumentar o desempenho energético, o que foi confirmado com os resultados obtidos através da redução do IEE em 34,47 kWh_{EP}/m².ano. Os cenários que obtiveram uma melhor classificação energética foi o quinto e o sexto cenário, sendo que entre estes dois cenários, o sexto cenário apresenta melhores indicadores económicos.

5.5 CLASSE ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO APÓS CENÁRIO DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA PROPOSTO

Em suma, depois da apresentação de todos os indicadores relevantes é possível verificar oportunidades e áreas de interesse para aplicação de medidas de eficiência energética. De entre todos os cenários desenvolvidos, o cenário de reabilitação energética proposto é o sexto. A escolha incide principalmente no resultado obtido para o desempenho energético do Complexo Escolar, onde se pretende implementar sistemas sustentáveis e eficientes, que apostem nas energias renováveis e que sejam capazes de melhorar o conforto térmico dos seus utilizadores. Sendo o quinto e sexto cenários a apresentarem melhores desempenhos energéticos, com uma classe energética final de B, a escolha incidu sobre aquele que apresentava melhores parâmetros económicos (o sexto cenário). Assim, sugere-se a implementação do isolamento térmico na cobertura, do sistema de iluminação, do sistema solar térmico e do sistema de ar condicionado. Com esta implementação, o desempenho energético do Complexo Escolar pode ser melhorado nos seguintes pontos:

- Reduzir as emissões de GEE de 63,71 para 49,03 tonCO₂/ano;
- Indicador de eficiência energético de 116,41 para 81,94 kWh_{EP}/m².ano;
- O rácio de eficiência energética de 1,16 para 0,71;
- Classe energética do Complexo Escolar após cenário de reabilitação de B.

6 CONCLUSÕES

6.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES DA DISSERTAÇÃO

Após a realização da dissertação, com o desenvolvimento de um caso de estudo e da análise dos resultados do mesmo, é possível verificar o cumprimento de todos os objetivos apresentados. Serve este capítulo para retirar conclusões do trabalho desenvolvido e de propostas de trabalhos futuros.

De forma geral, o trabalho desenvolvido permitiu ter uma perceção clara de todas as tarefas inerentes à avaliação energética de edifícios de serviços, da complexidade da obtenção dos dados necessários à construção do(s) modelo(s) de simulação e das diferentes análises a efetuar sobre os resultados obtidos, de forma a perceber, por um lado, a representatividade do modelo relativamente ao desempenho real do edifício e, por outro, o impacto da introdução de medidas de racionalização energética. Permitiu ainda ter uma noção da importância da análise técnico-económica das medidas de racionalização energética na altura de decidir qual/quais as opções a considerar. No caso específico do Complexo Escolar, o trabalho desenvolvido permitiu, mais do que avaliar o seu desempenho energético, ter uma noção do peso de cada consumidor no consumo energético global do edifício, bem como quantificar a influência de diferentes medidas de racionalização energética passíveis de dar resposta às debilidades identificadas.

A dissertação iniciou-se com a realização de um enquadramento legislativo relativo ao tema da certificação de edifícios de serviços, tornando-se o ponto de partida para o desenvolvimento do caso de estudo. Este enquadramento inicial permitiu concluir que os requisitos térmicos e energéticos para os edifícios estão a tornar-se cada vez mais exigentes, o que, por um lado, possibilitará tornar os edifícios energeticamente mais eficientes, e, por outro, contribuirá para a sua autonomia energética (com a incorporação de energias renováveis). Também, é possível concluir que este documento apresenta uma base metodológica para o desenvolvimento de processos de avaliação do desempenho energético de edifícios, e da certificação energética de GES, uma vez que se desenvolveram todas as etapas necessárias para a obtenção de um certificado energético.

Visto que o objetivo principal desta dissertação se prendeu com a avaliação do desempenho energético de um edifício de serviços, em particular o Complexo Escolar,

cabe referir que este apresenta, no âmbito do SCE, um desempenho energético classificado com a classe C. Para a obtenção deste resultado foi necessário desenvolver um modelo dinâmico representativo dos consumos energéticos do edifício em estudo, sendo este desenvolvido com o recurso à ferramenta computacional *DesignBuilder®*. Com o auxílio desta ferramenta conclui-se que foi possível obter um modelo de simulação dinâmica calibrado e representativo dos consumos energéticos do Complexo Escolar. Para além disso, com a análise desenvolvida é possível concluir que o modelo previsto apresenta maiores necessidades energéticas que o modelo de referência, indicando um desempenho energético abaixo do que seria desejável, caso fosse um edifício novo.

A repartição dos consumos energéticos, obtido após a análise do processo de auditoria, revelou um consumo significativo por parte do aquecimento ambiente, da preparação de AQS e da iluminação que perfazem um total de 73% do consumo energético do Complexo Escolar. Deste ponto de partida, apresentaram-se medidas de racionalização energética com o intuito de melhorar o desempenho energético dos sistemas e de reduzir os consumos energéticos do Complexo Escolar. Da análise das medidas apresentadas é possível concluir que a aplicação de isolamento térmico sobre a laje da cobertura, ou de um sistema solar térmico, ou de um sistema de ar condicionado, conduzem a uma redução nos consumos de gás propano, com um insignificante aumento no consumo elétrico. Com a aplicação de um sistema de iluminação mais eficiente existe uma redução significativa dos consumos elétricos e um aumento nos consumos de gás propano (devido à redução dos ganhos internos associados à iluminação, que têm de ser colmatados com um aumento das necessidades de aquecimento), enquanto que para a aplicação de um sistema solar fotovoltaico só existem reduções no consumo elétrico.

Com a conjugação de várias medidas foi possível obter diferentes cenários de reabilitação energética, tendo-se concluído que a aplicação conjunta do isolamento térmico, do sistema de iluminação, do sistema solar térmico, do sistema fotovoltaico e do sistema de ar condicionado (quinto cenário) apresenta o maior melhoramento no desempenho energético do Complexo Escolar. Com a implementação deste cenário atinge-se uma classe energética B, elevando em dois níveis a atual classe energética. Dos cenários apresentados, o economicamente mais atrativo foi a aplicação conjunta do isolamento térmico e do sistema solar térmico (primeiro cenário), sendo o cenário com um menor PRC (9 anos). Este cenário permite ao investidor, ao fim de 20 anos poupar 30 603,97 € tendo associada uma TIR de 11,85%, elevando a classe energética do Complexo Escolar para B⁻.

Embora estes cenários apresentem mais vantagens em certos parâmetros, o cenário sugerido foi o sexto, uma vez que se considerou o desempenho energético e a eficiência dos sistemas como parâmetros mais importantes. Assim, é sugerida a aplicação conjunta do isolamento térmico da cobertura, do sistema de iluminação, do sistema solar térmico e do sistema de ar condicionado, o que permite ao Complexo Escolar obter uma classe energética de B, elevando em dois níveis a classe atual. Esta sugestão permite uma redução nos consumos elétricos de 27,65 % e nos consumos de gás propano de 17,17 %, permitindo, ao fim de 20 anos, poupar 34 610,85 € tendo associada uma TIR de 7,19 %.

Todo o trabalho desenvolvido no ITeCons foi bem-sucedido e gratificante, permitindo consolidar conhecimentos académicos, na área da térmica de edifícios e AVAC, adquirir metodologias de trabalho e várias competências pessoais.

6.2 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

De modo a dar continuidade aos temas abordados nesta dissertação, como propostas de trabalhos futuros recomenda-se o desenvolvimento de um projeto luminotécnico de todos os espaços, com o intuito de verificar os requisitos para os níveis de iluminância destes, e o desenvolvimento de uma análise de resultados do impacto das medidas de melhoria entre o modelo real e o modelo previsto. Recomenda-se também, avaliar outras medidas que possam afetar os grandes consumidores energéticos e realizar um estudo de viabilidade económica comparativo com alteração dos valores de taxa de juro e taxa de inflação. Considera-se interessante avaliar de que modo a legislação pode ter influência nos resultados de desempenho térmico de edifícios, recorrendo à comparação de resultados do modelo real com resultados do modelo previsto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministério dos Negócios Estrangeiros, “Decreto nº 7/2002, de 25 de março,” *Diário da República*, vol. 1ª série, nº 71, pág. 2816–2836, 2002.
- [2] Ministério da Obras Públicas Transportes e Comunicação, “Decreto nº 40/90, de 6 de fevereiro,” *Diário da República*, vol. 1ª série, nº 31, pág. 490–504, 1990.
- [3] Parlamento Europeu e Conselho, “Directiva 2002/91/CE - Desempenho energético dos edifícios,” *J. Of. das Comunidades Eur. L 1*, nº 11, pág. 65–71, 2002.
- [4] Ministério da Economia e do Emprego, “Decreto-Lei nº 118/2013, de 20 de agosto,” *Diário da República*, vol. 1ª série, nº 159, pág. 4988–5005, 2013.
- [5] Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e da Energia, “Decreto-Lei nº 68-A/2015, de 30 de abril,” *Diário da República*, vol. 1ª série, nº 84, pág. 2–52, 2015.
- [6] DGEG - Direção Geral da Energia e Geologia, “Indicadores Energéticos.” dados excel, 2016.
- [7] DGEG - Direção Geral da Energia e Geologia, “Energia em Portugal 2014,” 2016.
- [8] ZERO - Associação Sistema Terrestre Sustentável, “Alterações Climáticas - Portugal apenas a 3% do objetivo mínimo para 2030,” 3/5/2016. [Online]. Disponível em: <http://zero.org/alteracoes-climaticas-portugal- apenas-a-3-do-objetivo-minimo-para-2030/>. [Acedido em: 05-maio-2016].
- [9] ITeCons, “Apresentação do ITeCons.” Coimbra, 2016.
- [10] ADENE - Agência para a Energia, “Certificação Energética e Ar Interior - Edifícios.” [Online]. Disponível em: <http://www.adene.pt/sce/>. [Acedido em: 04-abril-2016].
- [11] ADENE e DGEG, “Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) Perguntas & Respostas Versão 0 Maio de 2015,” 2015.
- [12] Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia, “Decreto-Lei nº 251/2015, de 25 de novembro,” *Diário da República*, vol. 1ª série, nº 231, pág. 9591–9611, 2015.
- [13] Trabalho Solidariedade e Segurança Social e Economia, “Portaria nº 17-A/2016, de 4 de fevereiro,” *Diário da República*, vol. 1ª série, nº 24, pág. 2–56, 2016.

- [14] Ministério da Economia e do Emprego, “Despacho nº 15793-D/2013,” *Diário da República*, vol. 2ª série, nº 234, pág. 13, 2013.
- [15] Ministério da Economia e do Emprego, “Despacho nº 15793-J/2013,” *Diário da República*, vol. 2ª série, nº 234, pág. 55–57, 2013.
- [16] Ministério da Economia e do Emprego, “Portaria nº 349-D/2013, de 2 de dezembro,” *Diário da República*, vol. 1ª série, nº 233, pág. 40–73, 2013.
- [17] A. T. de Almeida, Á. Gomes, C. Patrão, F. Ferreira, L. Marques, P. Fonseca, e R. Behnke, “Manual Técnico de Gestão de Energia,” 2007.
- [18] M. Kaplan e P. Caner, “Guidelines for Energy Simulation of Commercial Buildings,” 1992.
- [19] A. Pedrini, F. S. Westphal, and R. Lamberts, “A methodology for building energy modelling and calibration in warm climates,” *Build. Environ.*, vol. 37, nº 8–9, pág. 903–912, 2002.
- [20] J.H. Yoon and E.J. Lee, “Calibration procedure of energy performance simulation model for a commercial building.”
- [21] “DOE2.” [Online]. Disponível em: <http://www.doe2.com/>. [Acedido em: 18-abril-2016].
- [22] D. B. Crawley, J. W. Hand, M. Kummert, e B. T. Griffith, “Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs,” 2005.
- [23] US Dept. of Energy, “Building Energy Software Tools.” [Online]. Disponível em: <http://www.buildingenergysoftwaretools.com/>. [Acedido em: 10-abril-2016].
- [24] Building Information Modeling e Revit, “BIM and the Autodesk Green Building Studio,” pág. 1–7.
- [25] Carrier, “Hourly Analysis Program.” [Online]. Disponível em: <http://www.carrierdobrasil.com.br/software/hourly-analysis-program>. [Acedido em: 15-abril-2016].
- [26] ADENE - Agência para a Energia, “Guia da Eficiência Energética,” *Guia da Eficiência Energética*, 2011.
- [27] Vulcano, “O Instalador,” *O Instalador*, vol. 191, pág. 55, 2012.
- [28] Direcção Geral de Energia, *Eficiência Energética nos Edifícios*. 2002.

- [29] Y. Shao, P. Geyer, e W. Lang, "Integrating requirement analysis and multi-objective optimization for office building energy retrofit strategies," *Energy Build.*, vol. 82, pág. 356–368, 2014.
- [30] A. Kaklauskas, E. K. Zavadskas, e S. Raslanas, "Multivariant design and multiple criteria analysis of building refurbishments," *Energy Build.*, vol. 37, nº 4, pág. 361–372, 2005.
- [31] Y. K. Juan, J. H. Kim, K. Roper, e D. Castro-Lacouture, "GA-based decision support system for housing condition assessment and refurbishment strategies," *Autom. Constr.*, vol. 18, nº 4, pág. 394–401, 2009.
- [32] LNEG, "CLIMAS-SCE - Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios, Versão 1.05." 13/02/2014, 2014.
- [33] Ministério da Economia e do Emprego, "Despacho nº 15793-K/2013, de 3 de dezembro," *Diário da República*, vol. 2ª série, nº 234, pág. 58–87, 2013.
- [34] ITeCons, ADENE, e Universidade de Coimbra, "Catálogo Online de Pontes Térmicas Lineares." [Online]. Disponível em: <http://www.itecons.uc.pt/catalogoptl>.
- [35] ADENE - Agência para a Energia, "O que é | Sistema de Certificação Energética dos Edifícios," 2016. [Online]. Disponível em: <http://www.adene.pt/sce/o-que-e-1>. [Acedido em: 14-maio-2016].
- [36] Ministério da Economia e do Emprego, "Despacho nº 15793-L/2013," *Diário da República*, vol. 2ª série, nº 234, pág. 88, 2013.
- [37] Ministério da Economia e do Emprego, "Despacho nº 15793-F/2013, de 3 de dezembro," *Diário da República*, vol. 2ª série, nº 234, pág. 26–31, 2013.
- [38] Google, "Google Earth." 2016.
- [39] Ministério da Economia e do Emprego, "Despacho nº 15793-E/2013, de 3 de dezembro," *Diário da República*, vol. 2ª série, nº 234, pág. 14–25, 2013.
- [40] C. A. P. Santos e L. Matias, "Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios - Versão Atualizada 2006," vol. ITE 50, 2006.
- [41] C. A. P. Santos e R. Rodrigues, "Coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios - Soluções construtivas de edifícios antigos," vol. ITE 54, 2009.

- [42] ADENE e LNEC, “Coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios - Valores por defeito.” 2009.
- [43] LNEC, “Qventila - Para determinar o caudal mínimo de ar novo, de acordo com o método analítico do RECS.” 2013.
- [44] Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e da Energia, “Portaria nº 353 - A/2013, de 4 de dezembro,” *Diário da República*, vol. 1.^a série, nº 235, pág. 2–9, 2013.

APÊNDICE I – LEVANTAMENTO DIMENSIONAL

Depois da visita ao Complexo Escolar, foram desenvolvidos elementos de apoio ao desenvolvimento do caso de estudo, entre eles, o desenvolvimento das plantas do Complexo Escolar e o desenvolvimento de uma folha de cálculo com os dados recolhidos. Assim, são apresentados os resultados decorrentes do levantamento dimensional. O Bloco A é constituído por 38 espaços que perfazem uma área útil de pavimento de 1 018,24 m², em que o levantamento dimensional está descrito na Tabela 50.

Tabela 50 – Levantamento dimensional dos espaços do Bloco A.

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL BLOCO A					
Zona	Designação do espaço	Tipologia	Pé direito médio [m]	Área [m ²]	Volume [m ³]
Z01	I.S. Rapazes	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,11	22,67	71
Z01	Lavandaria	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,20	6,52	21
Z01	I.S. Raparigas	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,16	20,71	65
Z02	Arquivo BE	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,10	17,97	56
Z03	Sala de Pessoal	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,10	16,20	50
Z03	Arrumo BE	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,22	0,96	3
Z03	Hall Arquivo BE	Ensino Básico (1º Ciclo)	2,99	11,96	36
Z06	Corredor Oeste	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,23	34,65	112
Z06	I.S Deficientes	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,22	5,96	19
Z04	Cozinha	Cozinhas	3,25	13,76	45
Z11	Escadas acesso ao BE	Ensino Básico (1º Ciclo)	4,95	8,49	42
Z05	UEEA	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,13	29,48	92
Z06	Hall de Entrada	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,13	42,41	133
Z06	Escadas	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,35	21,49	72
Z06	Arrumos Limpeza	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,27	9,58	31
Z06	Corredor Este	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,24	28,45	92
Z06	I.S. Funcionários	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,10	10,76	33
Z07	Servidor	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,10	17,72	55
Z08	Concelho Executivo	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,10	30,23	94
Z09	CAF	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,10	80,78	250
Z09	Antigo Bar	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,00	7,21	22
Z09	I.S. CAF	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,00	3,50	11
Z10	Arrumos	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,10	24,89	77
Z10	Corredor Arrumos	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,10	15,63	48

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL BLOCO A

Zona	Designação do espaço	Tipologia	Pé direito médio [m]	Área [m²]	Volume [m³]
Z11	Biblioteca	Ensino Básico (1º Ciclo)	4,33	113,59	492
Z12	Bar	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,05	42,29	129
Z13	Sala de aulas 1.0	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,05	42,62	130
Z15	Sala dos Professores	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,05	29,54	90
Z15	Sala de Trabalhos	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,05	17,98	55
Z14	Corredor central	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,05	38,02	116
Z14	Posto socorro	Ensino Básico (1º Ciclo)	2,70	10,29	28
Z16	Reprografia/Papelaria	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,05	42,43	129
Z17	Salas de Aulas 1.1	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,05	42,79	131
Z18	Corredor Lateral	Ensino Básico (1º Ciclo)	2,83	15,55	44
Z18	I.S.	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,04	2,03	6
Z19	Sala de Aulas 1.3	Ensino Básico (1º Ciclo)	2,88	53,20	153
Z20	Sala de Aulas 1.2	Ensino Básico (1º Ciclo)	2,95	64,44	190
Z14	Escadas Piso 1	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,10	21,49	67
TOTAL			3,23	1 018,24	3 290

O Bloco C é constituído por 29 espaços que perfazem uma área útil de pavimento de 964,58 m², em que o levantamento dimensional está descrito na Tabela 51.

Tabela 51 – Levantamento dimensional dos espaços do Bloco C.

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL BLOCO C

Zona	Designação do espaço	Tipologia	Pé direito médio [m]	Área [m²]	Volume [m³]
Z03	Sala de Aula 0.1	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,40	48,32	164
Z03	Sala de Aula 0.2	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,40	47,94	163
Z04	Sala de Aula 0.3	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,40	45,79	156
Z05	Arrumo 1	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,38	6,76	23
Z04	Arrumo 2	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,40	6,67	23
Z05	Arrumo Limpeza	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,38	8,76	30
Z02	Elevador	Zonas Técnicas	7,00	3,81	27
Z02	Sala das Maquinas	Zonas Técnicas	3,39	4,61	16
Z05	I.S. Deficientes	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,39	6,10	21
Z04	Sala de Ciências	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,40	64,14	218
Z05	Corredor Norte	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,38	49,13	166
Z01	Hall de entrada	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,40	56,16	191
Z01	Arrumo das Ciências	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,18	15,80	50

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL BLOCO C

Zona	Designação do espaço	Tipologia	Pé direito médio [m]	Área [m²]	Volume [m³]
Z01	Arrumo 3	Ensino Básico (2º Ciclo)	1,13	6,20	7
Z01	Arrumo do EVT	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,18	16,10	51
Z06	Sala de EVT	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,4	97,32	331
Z08	Sala de Aulas 1.1	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,38	47,96	162
Z08	Sala de Aulas 1.2	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,38	50,77	172
Z08	Sala de Aulas 1.3	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,39	50,48	171
Z07	Sala de Aulas 1.4	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,39	46,45	157
Z07	Sala de Aulas 1.5	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,38	47,88	162
Z01	Arrumo Piso 1	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,38	9,44	32
Z09	Laboratório de Informática	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,38	32,96	111
Z09	Gabinete 1	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,39	28,60	97
Z09	Gabinete 2	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,39	36,64	124
Z01	Hall do 1º Piso	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,39	103,80	352
Z01	I.S. Rapazes	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,39	4,27	14
Z01	I.S. Raparigas	Ensino Básico (2º Ciclo)	3,39	4,27	14
Z01	Escadas	Ensino Básico (2º Ciclo)	4,79	17,45	84
TOTAL			3,41	964,58	3 289

O Bloco D é constituído por 9 espaços que perfazem uma área útil de pavimento de 386,95 m², em que o levantamento dimensional está descrito na Tabela 52.

Tabela 52 – Levantamento dimensional dos espaços do Bloco D.

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL BLOCO D

Zona	Designação do espaço	Tipologia	Pé direito médio [m]	Área [m²]	Volume [m³]
Z01	Cozinha	Cozinhas	3,40	82,98	282
Z01	Arrumo de Alimentos	Cozinhas	3,40	15,78	54
Z01	I.S. Funcionárias	Cozinhas	3,38	11,33	38
Z02	Arrumo Refeitório	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,39	11,21	38
Z03	Zona Técnica -Caldeiras	Zonas Técnicas	3,38	48,04	162
Z04	Arrumo	Zonas Técnicas	3,40	23,54	80
Z04	I.S. Raparigas	Zonas Técnicas	3,38	11,12	38
Z04	I.S. Rapazes	Zonas Técnicas	3,38	12,62	43
Z02	Refeitório	Ensino Básico (1º Ciclo)	3,37	170,33	574
TOTAL			3,38	386,95	1 309

O Pavilhão é constituído por 14 espaços que perfazem uma área útil de pavimento de 1 166,98 m², em que o levantamento dimensional está descrito na Tabela 53.

Tabela 53 – Levantamento dimensional dos espaços do Pavilhão.

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL PAVILHÃO					
Zona	Designação do espaço	Tipologia	Pé direito médio [m]	Área [m²]	Volume [m³]
Z01	Receção	Clube Desportivo sem Piscinas	2,78	34,30	95
Z02	Gabinete	Clube Desportivo sem Piscinas	2,79	23,99	67
Z01	I.S. Funcionários	Clube Desportivo sem Piscinas	2,77	3,22	9
Z04	Balneário Feminino	Clube Desportivo sem Piscinas	2,78	65,93	183
Z04	Balneário Masculino	Clube Desportivo sem Piscinas	2,78	69,11	192
Z01	Circulação	Clube Desportivo sem Piscinas	2,79	68,46	191
Z01	Arrumo	Clube Desportivo sem Piscinas	2,78	2,70	8
Z01	Arrumo Material	Clube Desportivo sem Piscinas	2,78	20,67	57
Z05	Zona Técnica	Zonas Técnicas	2,78	8,16	23
Z03	Ginásio	Clube Desportivo sem Piscinas	5,87	235,49	1382
Z03	Pavilhão	Clube Desportivo sem Piscinas	8,23	554,59	4564
Z02	I.S. Professores	Clube Desportivo sem Piscinas	2,80	10,86	30
Z06	Sala de Formação	Clube Desportivo sem Piscinas	2,78	26,87	75
-	Bancada	Clube Desportivo sem Piscinas	4,77	42,63	-
TOTAL			6,11	1 166,98	6 877

Por fim, cada Portaria é constituída por um espaço, estando caracterizado o seu levantamento dimensional na Tabela 54.

Tabela 54 – Levantamento dimensional dos espaços das Portarias.

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL PORTARIA 1					
Zona	Designação do espaço	Tipologia	Pé direito médio [m]	Área [m²]	Volume [m³]
Z01	Portaria 1	Ensino Básico (1º Ciclo)	2,40	4,11	10
LEVANTAMENTO DIMENSIONAL PORTARIA 2					
Z01	Portaria 2	Armazém	2,40	6,81	16

As plantas do levantamento dimensional e geométrico possibilitam uma melhor interpretação dos blocos do Complexo Escolar, e a caracterização de todas as dimensões e geometrias que o representam. Para isso, da Figura 32 à Figura 40 são ilustrados os desenhos desenvolvidos para o levantamento dimensional e geométrico, com o recurso à ferramenta de desenho, *Autodesk® AutoCAD®*. É de referir que os esboços não se apresentam à escala.

Devido à necessidade de ajustar as áreas interiores de pavimento útil dos espaços do Complexo Escolar é apresentada a Tabela 55, com o valor das áreas e volumes do modelo de simulação e o seu desvio relativo às medidas reais.

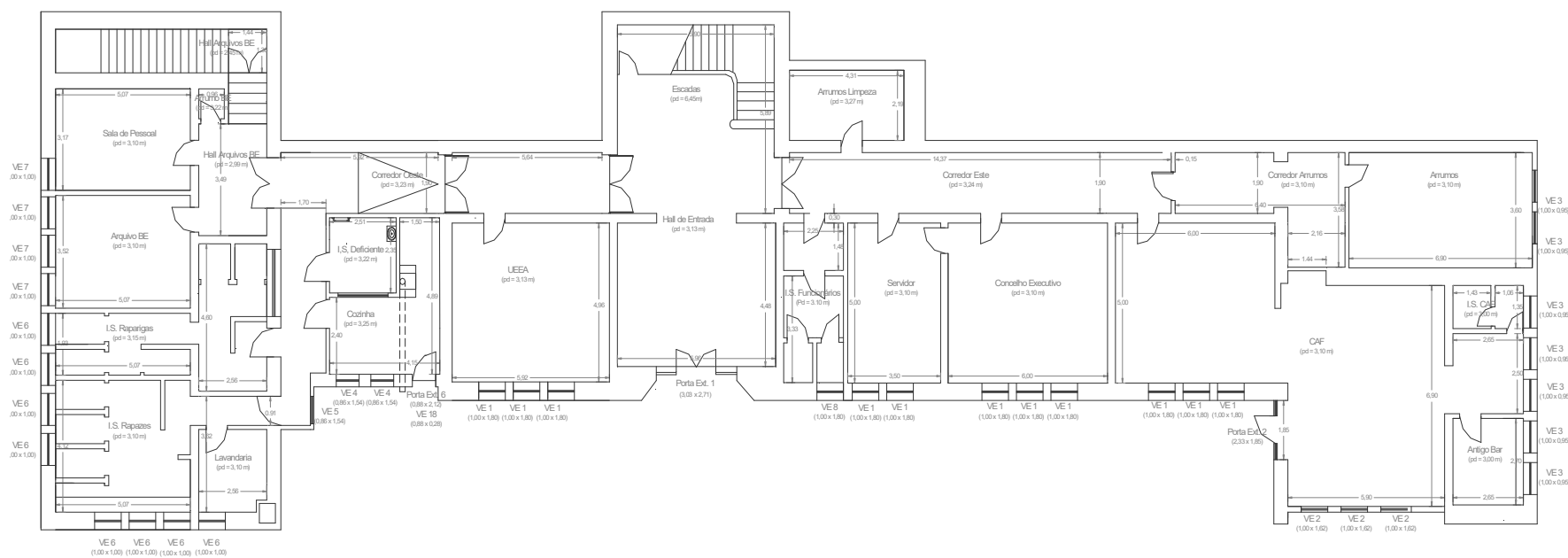


Figura 32 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico do Piso 0 do Bloco A.

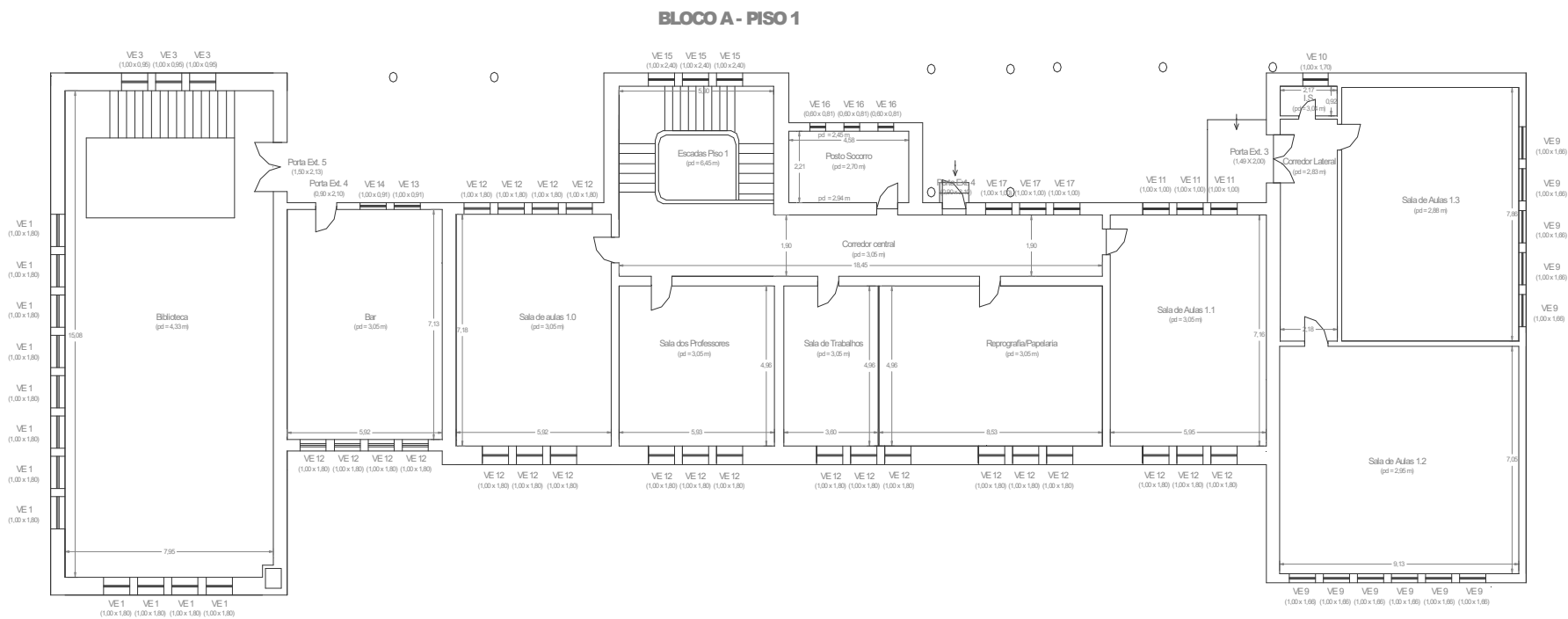


Figura 33 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico do Piso 1 do Bloco A.

BLOCO C - PISO 0

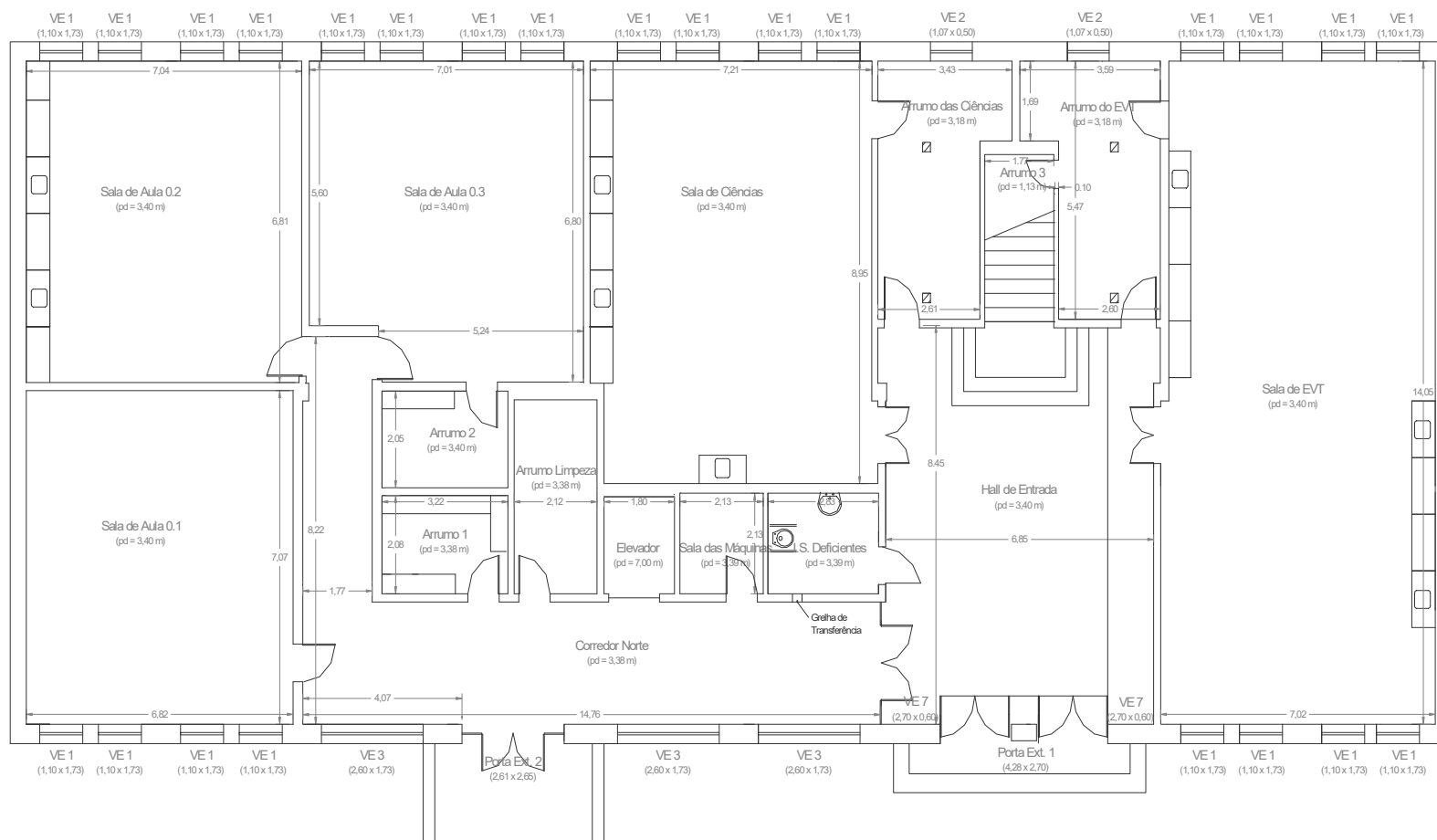


Figura 34 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico do Piso 0 do Bloco C.

BLOCO C- PISO 1

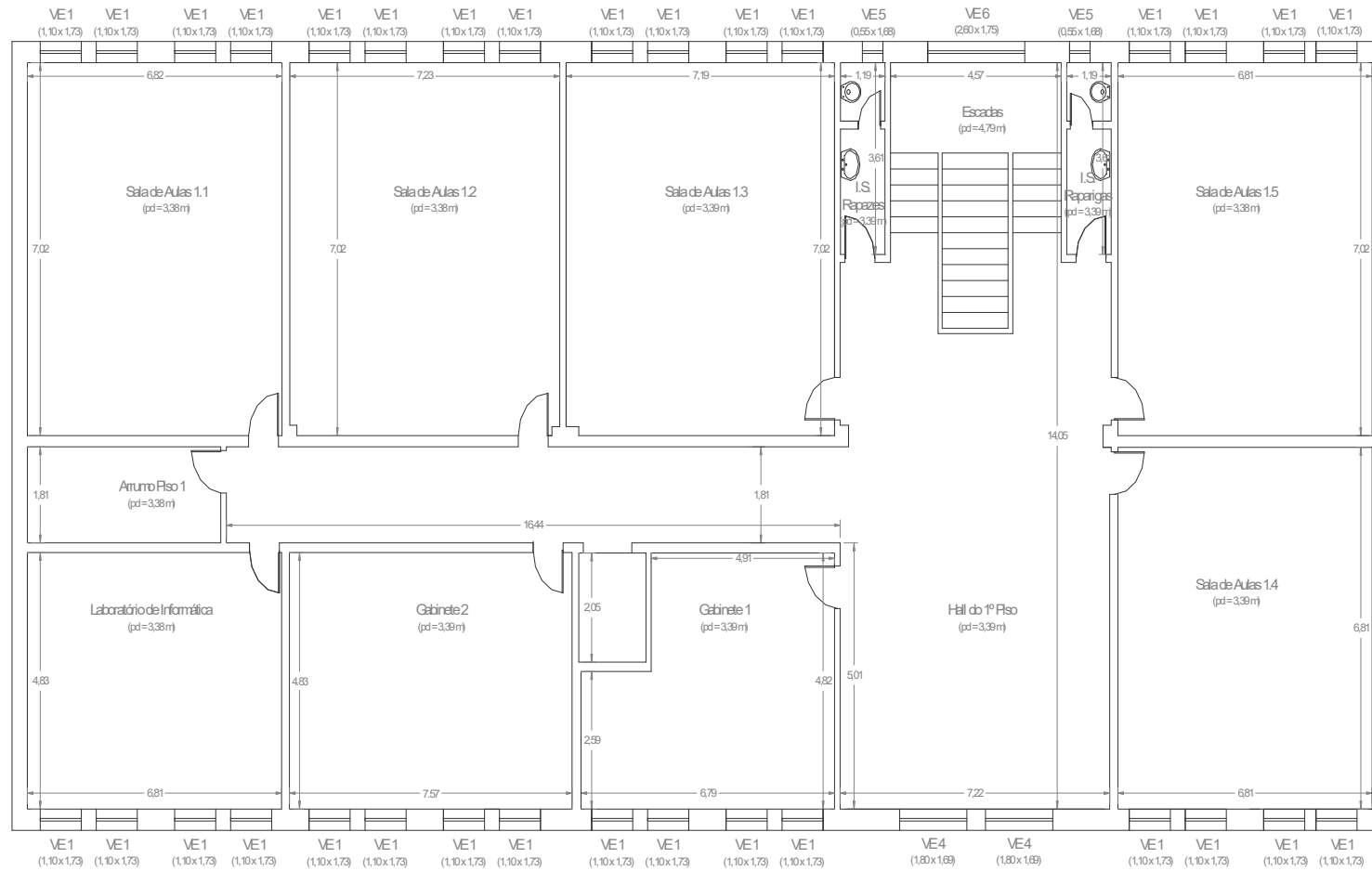


Figura 35 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico do Piso 1 do Bloco C.

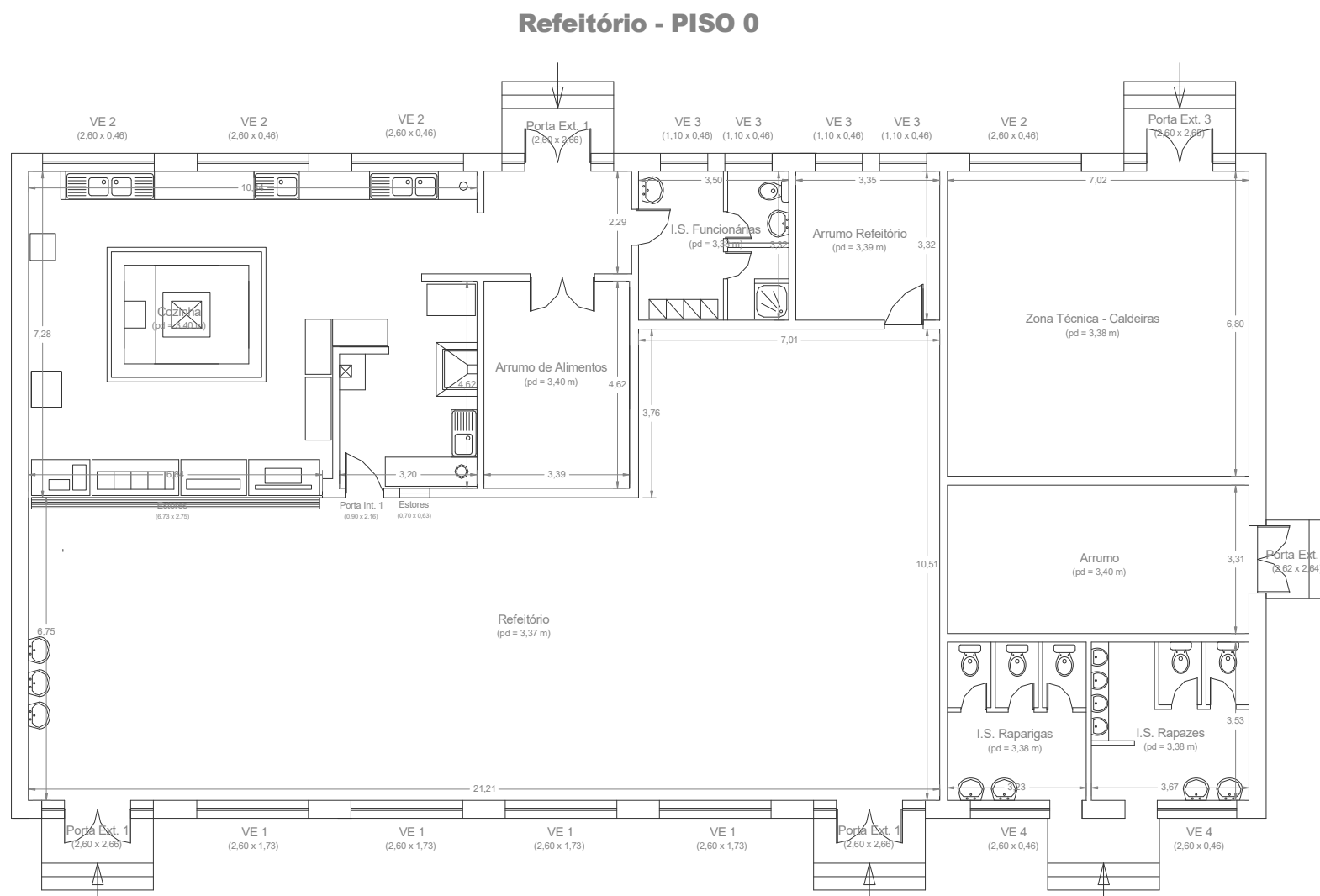


Figura 36 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico do Piso 0 do Bloco D (refeitório).

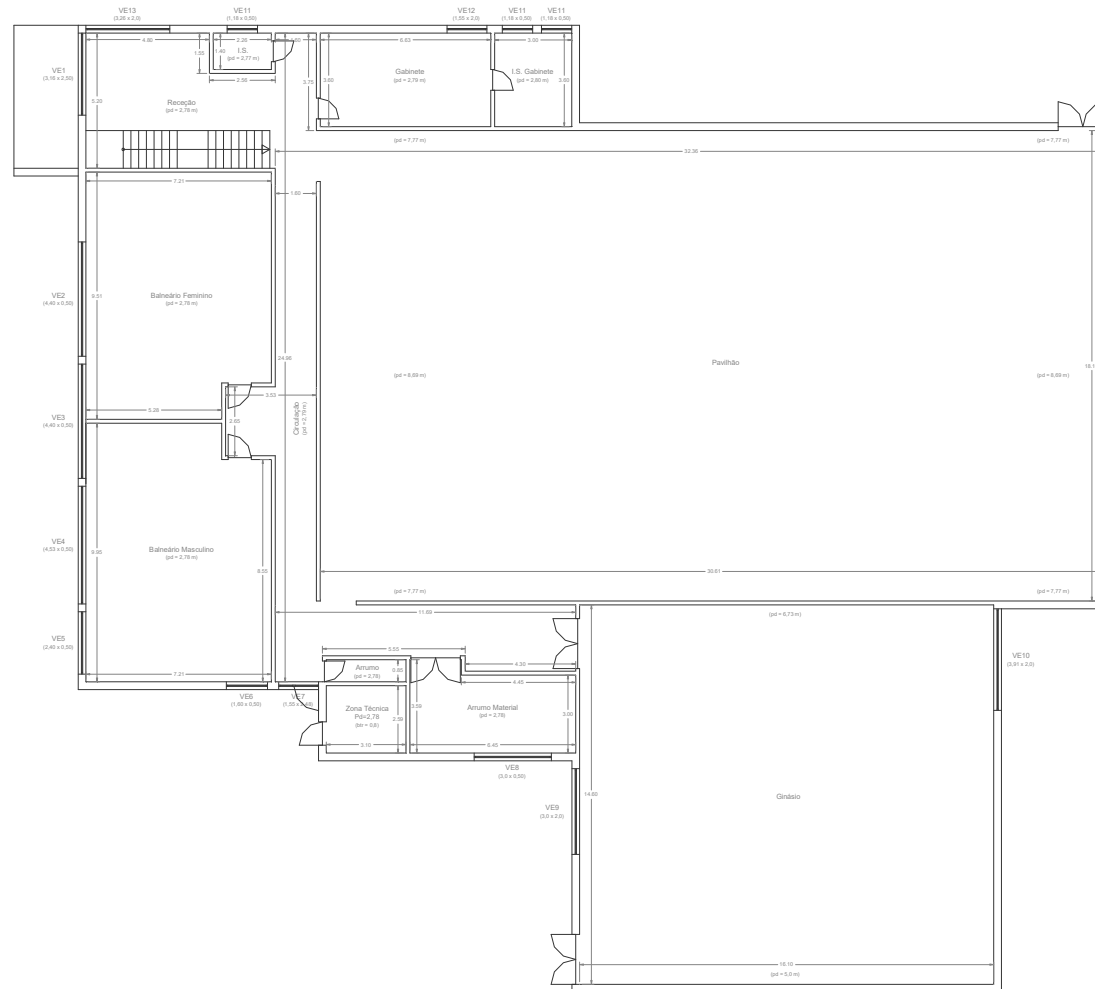
PAVILHÃO PISO 0

Figura 37 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico do Piso 0 do Pavilhão.

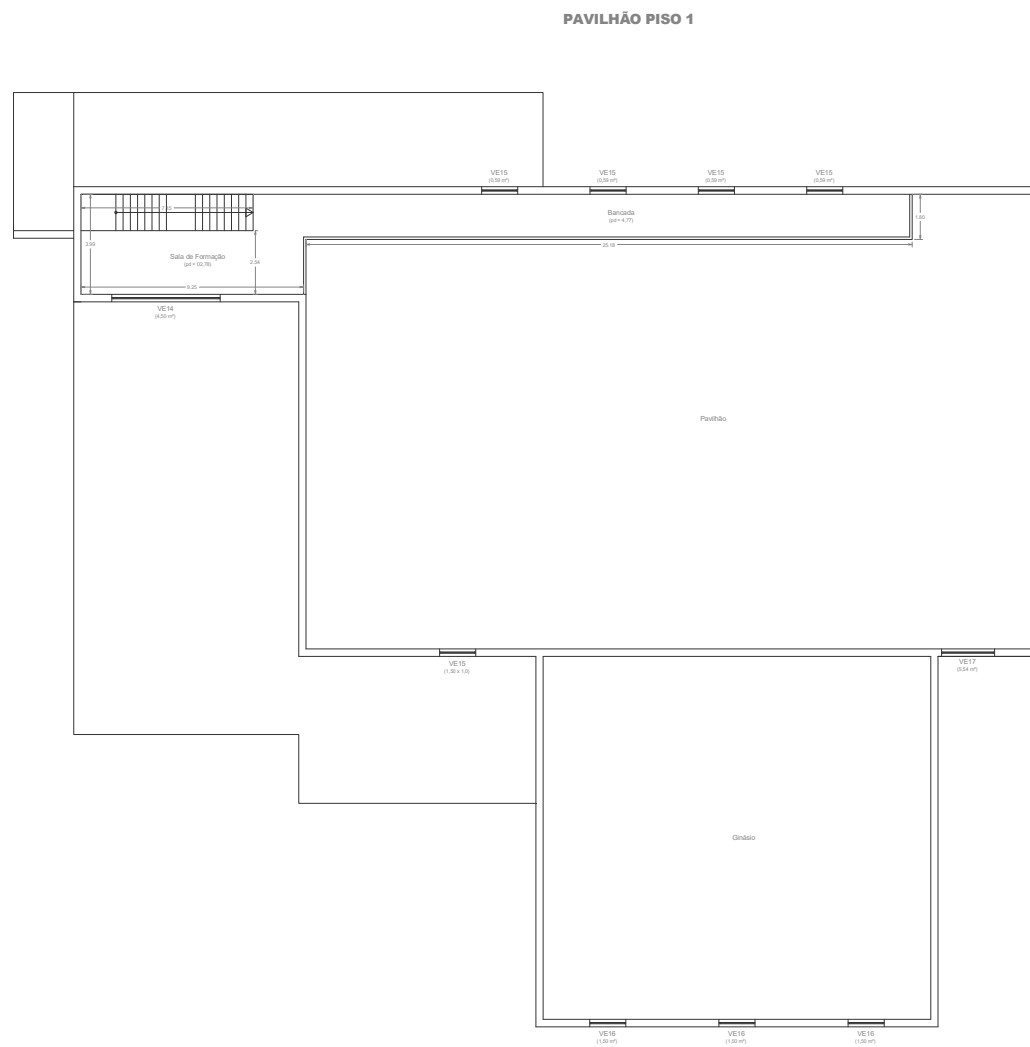


Figura 38 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico do Piso 1 do Pavilhão.

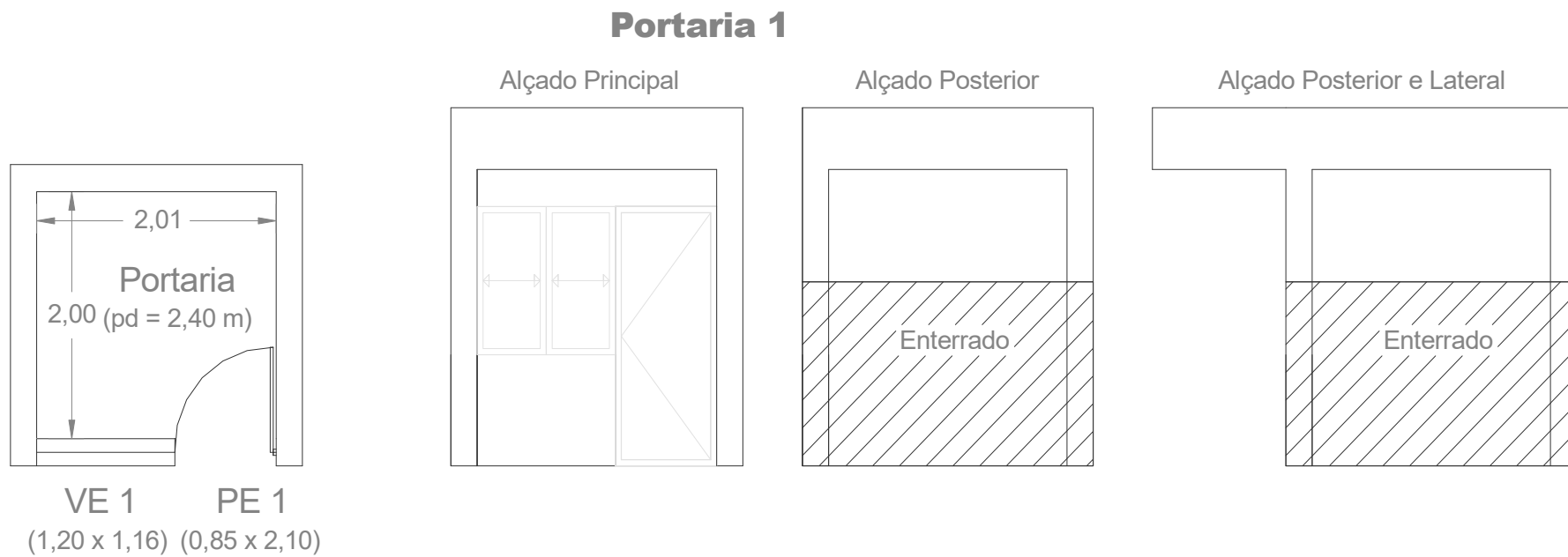


Figura 39 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico da Portaria 1.

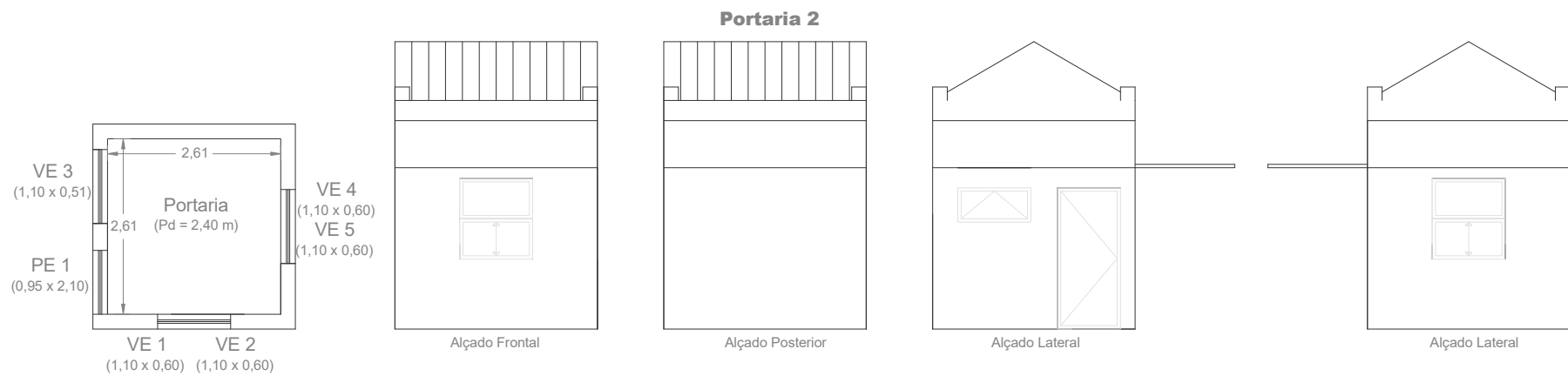


Figura 40 – Desenho 2D do levantamento dimensional e geométrico da Portaria 2.

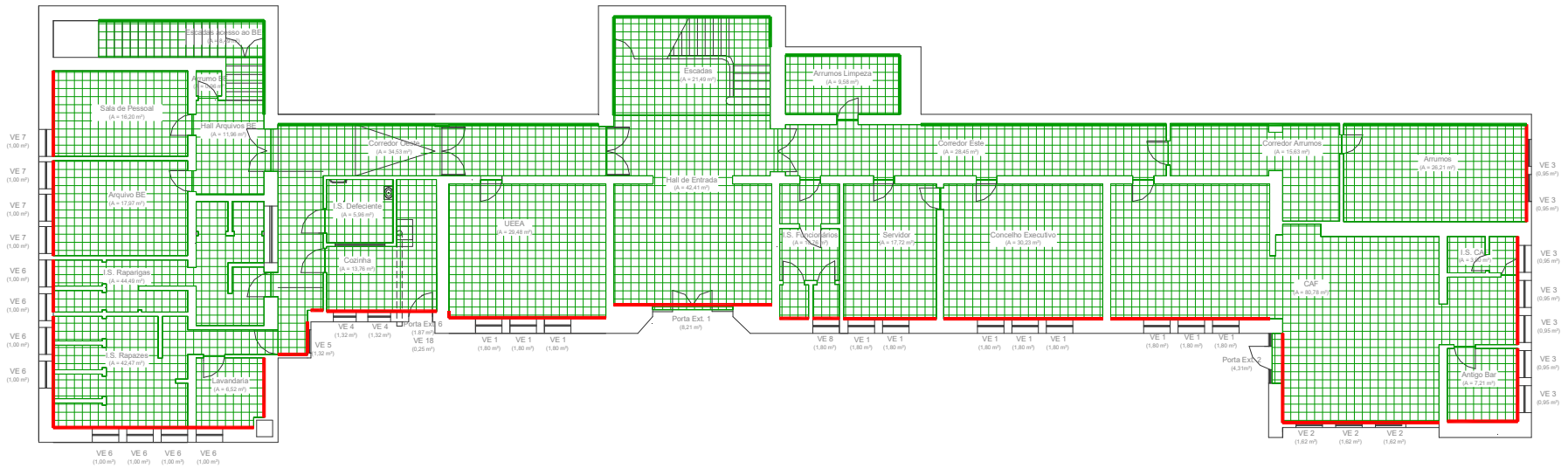
Tabela 55 – Valores do ajuste realizado para o levantamento dimensional do modelo de simulação.

AJUSTE DO LEVANTAMENTO DIMENSIONAL DO MODELO DE SIMULAÇÃO								
Bloco	Zona	Designação do espaço	Levantamento		Modelo de Simulação		Desvio Relativo	
			Área [m²]	Volume [m³]	Área [m²]	Volume [m³]	Área	Volume
Bloco A	Z01	Instalações Sanitárias	49,90	157	50,22	156	0,6%	-0,7%
	Z02	Arquivo BE	17,97	56	17,84	55	-0,7%	-0,7%
	Z03	Sala de Pessoal	29,12	89	29,63	91	1,7%	1,8%
	Z04	Cozinha	13,76	45	13,8	45	0,3%	0,3%
	Z05	UEEA	29,48	92	29,45	92	-0,1%	-0,1%
	Z06	Corredor	153,30	493	154,63	496	0,9%	0,7%
	Z07	Servidor	17,72	55	17,69	55	-0,2%	0,8%
	Z08	Concelho Executivo	30,23	94	30,27	95	0,1%	1,1%
	Z09	CAF	91,49	283	91,49	284	0,0%	0,4%
	Z10	Arrumo	40,52	126	40,95	127	1,1%	1,0%
	Z11	Biblioteca	115,00	534	116,68	537	1,4%	0,5%
	Z12	Bar	42,29	129	42,1	129	-0,5%	-0,5%
	Z13	Sala de aulas 1.0	42,62	130	42,95	131	0,8%	0,8%
	Z14	Corredor Central	48,31	212	49,15	211	1,7%	-0,6%
	Z15	Sala Professores	47,52	145	47,98	146	1,0%	1,0%
	Z16	Reprografia/Papelaria	42,43	129	42,34	129	-0,2%	-0,2%
	Z17	Salas de Aulas 1.1	42,79	131	42,97	131	0,4%	0,4%
	Z18	Corredor Lateral	17,58	50	17,55	51	-0,2%	0,8%
	Z19	Sala de Aulas1.3	53,2	153	52,91	152	-0,5%	-0,5%
	Z20	Sala de Aulas 1.2	64,44	190	65,38	193	1,4%	1,4%

AJUSTE DO LEVANTAMENTO DIMENSIONAL DO MODELO DE SIMULAÇÃO								
Bloco	Zona	Designação do espaço	Levantamento		Modelo de Simulação		Desvio Relativo	
			Área [m²]	Volume [m³]	Área [m²]	Volume [m³]	Área	Volume
Bloco C	Z01	Hall	136,64	796	140,92	794	3,0%	-0,3%
	Z02	Elevador	8,42	42	8,48	42	0,7%	-1,1%
	Z03	SalasEB1	96,26	327	96,33	328	0,1%	0,1%
	Z04	Salas Ciências	116,60	396	116,67	397	0,1%	0,1%
	Z05	Corredor	70,75	239	70,37	239	-0,5%	0,0%
	Z06	Sala EVT	97,32	331	96,66	329	-0,7%	-0,7%
	Z07	Salas 1Piso	94,33	319	95,55	323	1,3%	1,1%
	Z08	Sala música	149,21	505	148,75	503	-0,3%	-0,4%
	Z09	Gabinete	98,20	333	98,68	335	0,5%	0,6%
Bloco D	Z01	Cozinha	110,09	374	110,08	372	0,0%	-0,5%
	Z02	Refeitório	181,54	612	181,33	613	-0,1%	0,1%
	Z03	Caldeira	48,04	162	48,01	162	-0,1%	-0,1%
	Z04	I.S. refeitório	47,28	160	47,89	162	1,3%	1,0%
Pavilhão	Z01	Corredor	129,35	360	129,33	362	0,0%	0,5%
	Z02	Sala professores	34,85	97	34,62	97	-0,7%	-0,4%
	Z03	Pavilhão	790,08	5 947	790,58	5 934	0,1%	-0,2%
	Z04	Balneários	135,04	375	135,06	375	0,0%	0,0%
	Z05	Zonas Técnicas	8,16	23	8,13	23	-0,4%	-0,4%
	Z06	Sala de Formação	26,87	104	26,85	103	-0,1%	-0,1%
Portaria 1	Z01	Portaria 1	4,11	10	4,18	10	1,7%	1,8%
Portaria 2	Z01	Portaria 2	6,81	16	6,81	16	0,0%	0,0%

APÊNDICE II – MARCAÇÃO DA ENVOLVENTE

Do seguimento da informação apresentada no Capítulo 4, no que diz respeito às Soluções Construtivas, torna-se necessário o delineamento da envolvente do Complexo Escolar, para posteriormente, se definirem as soluções adotadas para cada tipo de envolvente. Com esse intuito, são apresentadas as plantas com a marcação da envolvente da Figura 41 à Figura 52.



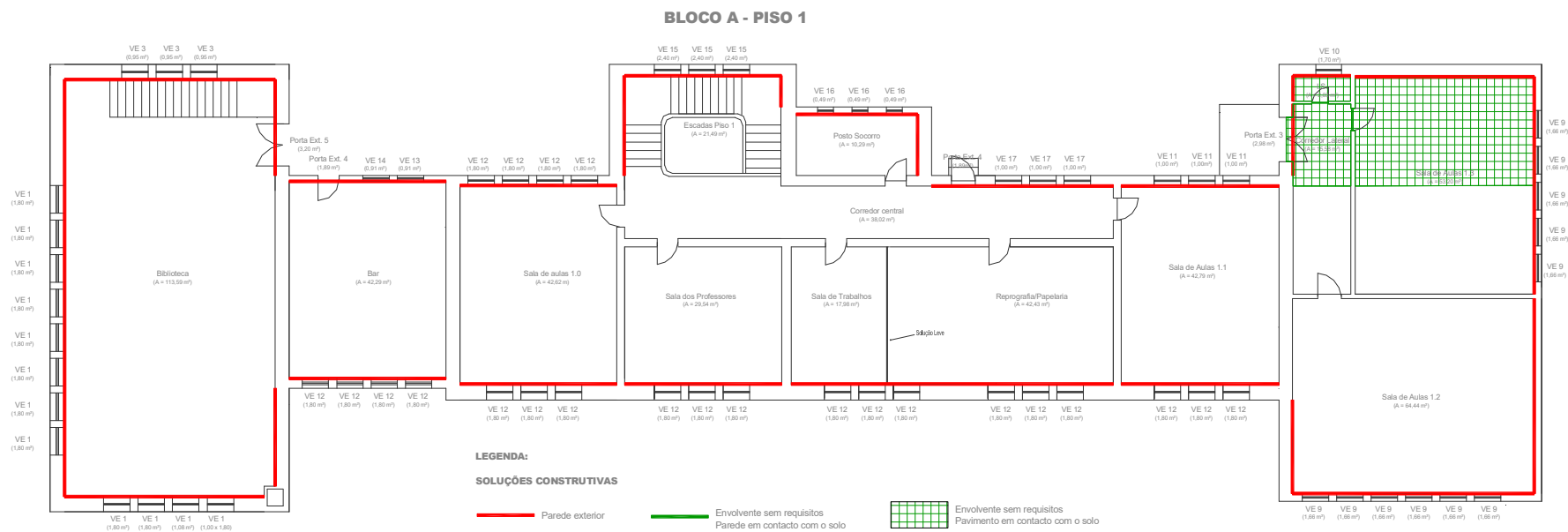


Figura 42 – Marcação da envolvente ao nível do pavimento do piso 1 do Bloco A.

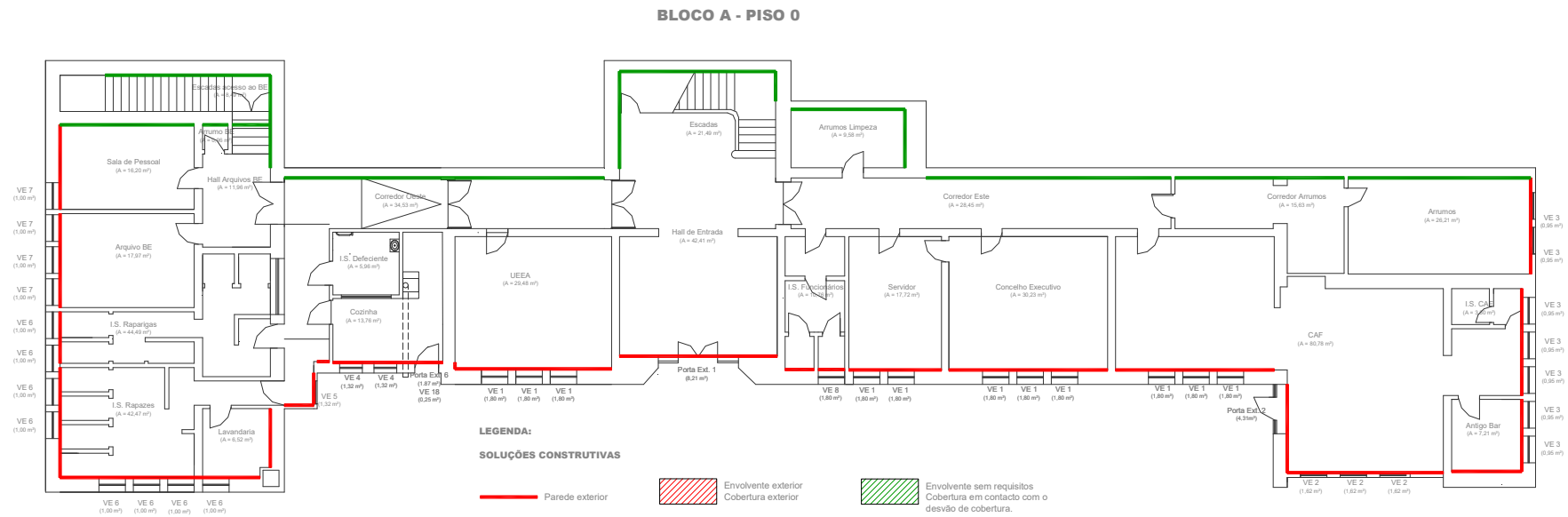


Figura 43 – Marcação da envolvente ao nível da cobertura do piso 0 do Bloco A.

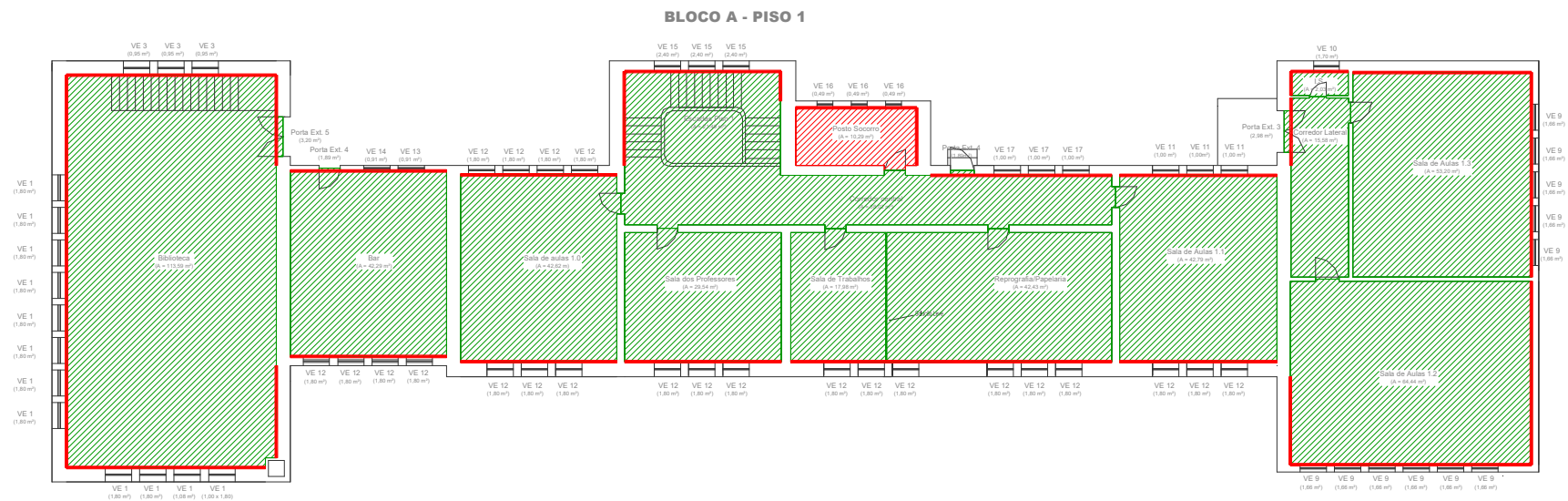


Figura 44 – Marcação da envolvente ao nível da cobertura do piso 1 do Bloco A.

BLOCO C - PISO 0

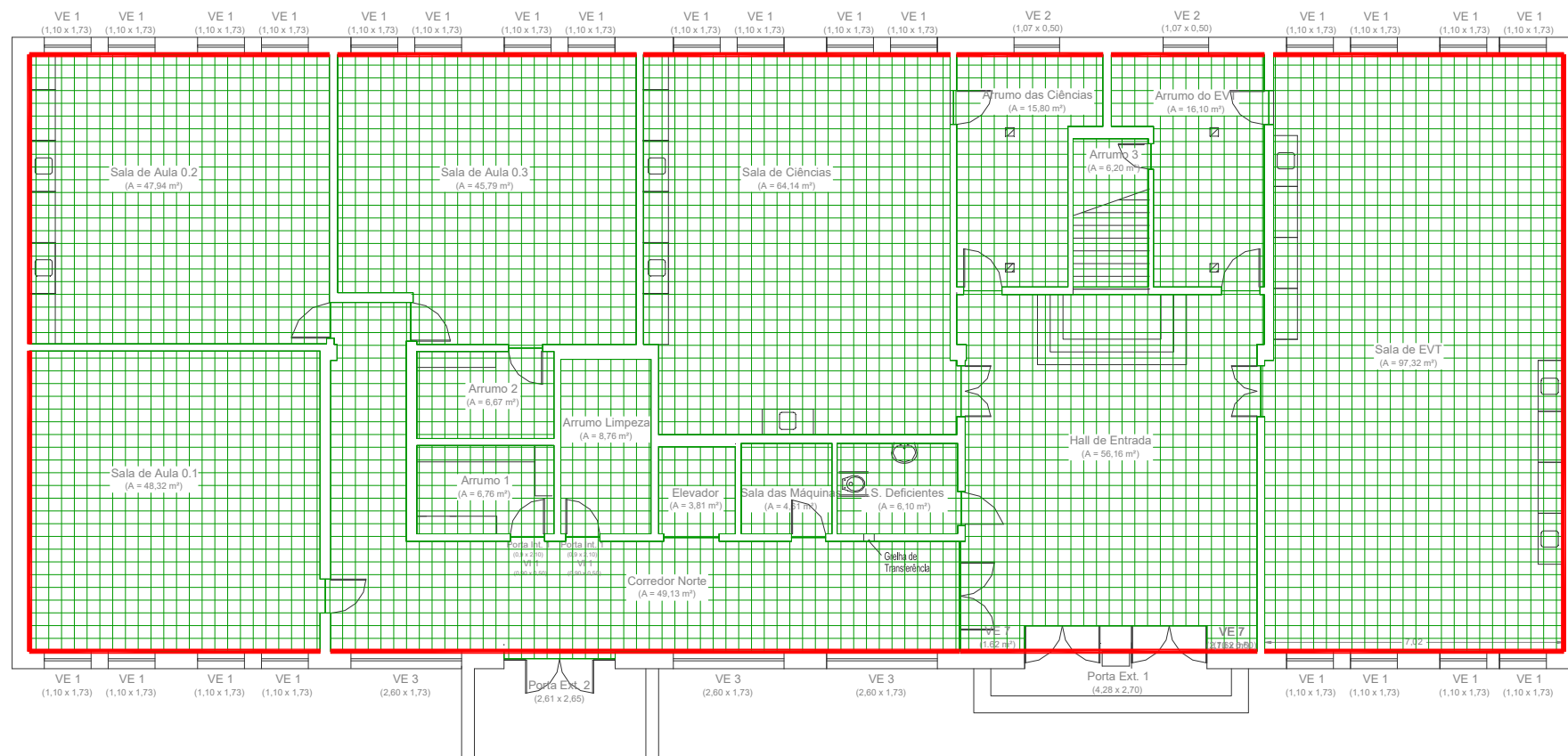
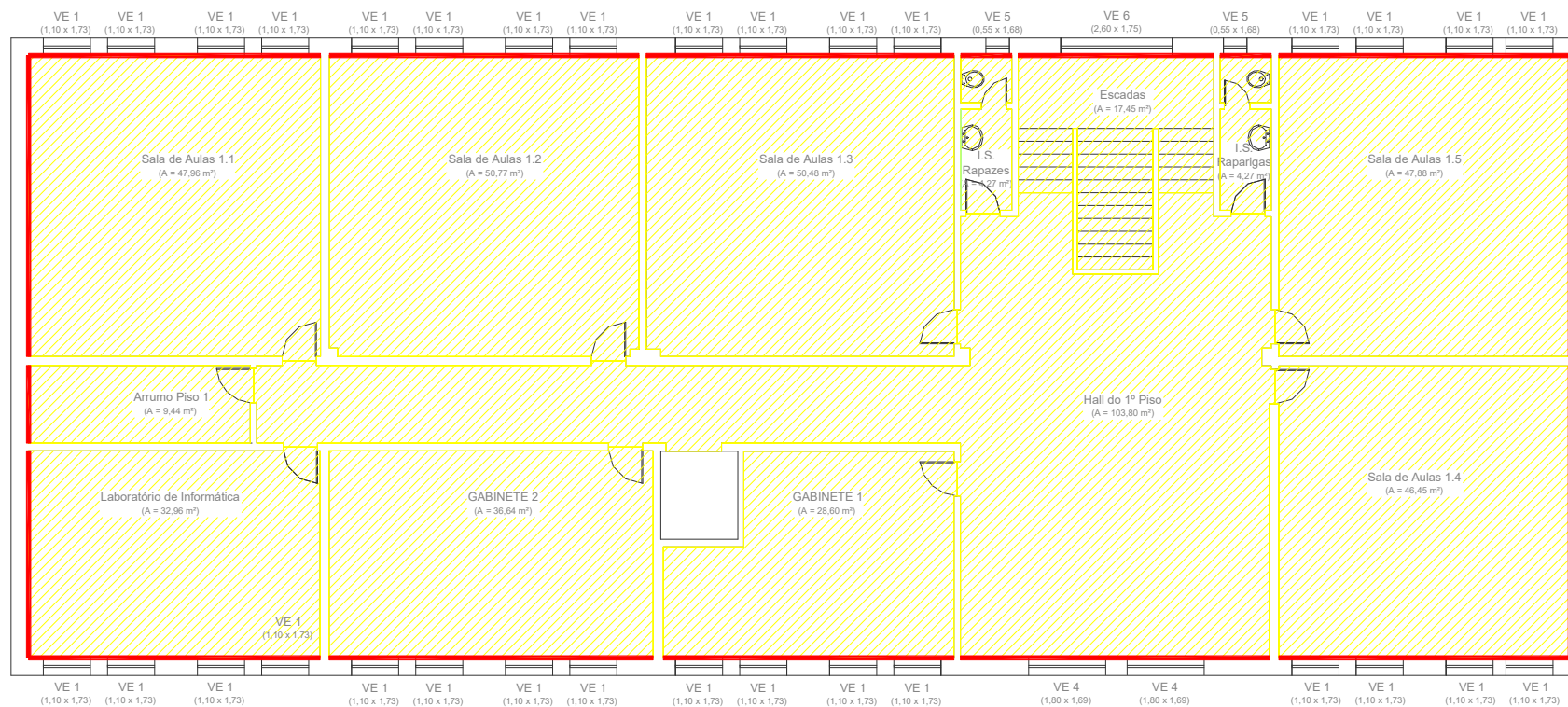


Figura 45 – Marcação da envolvente do piso 0 do Bloco C.

BLOCO C - PISO 1



LEGENDA :



Figura 46 – Marcação da envolvente do piso 1 do Bloco C.

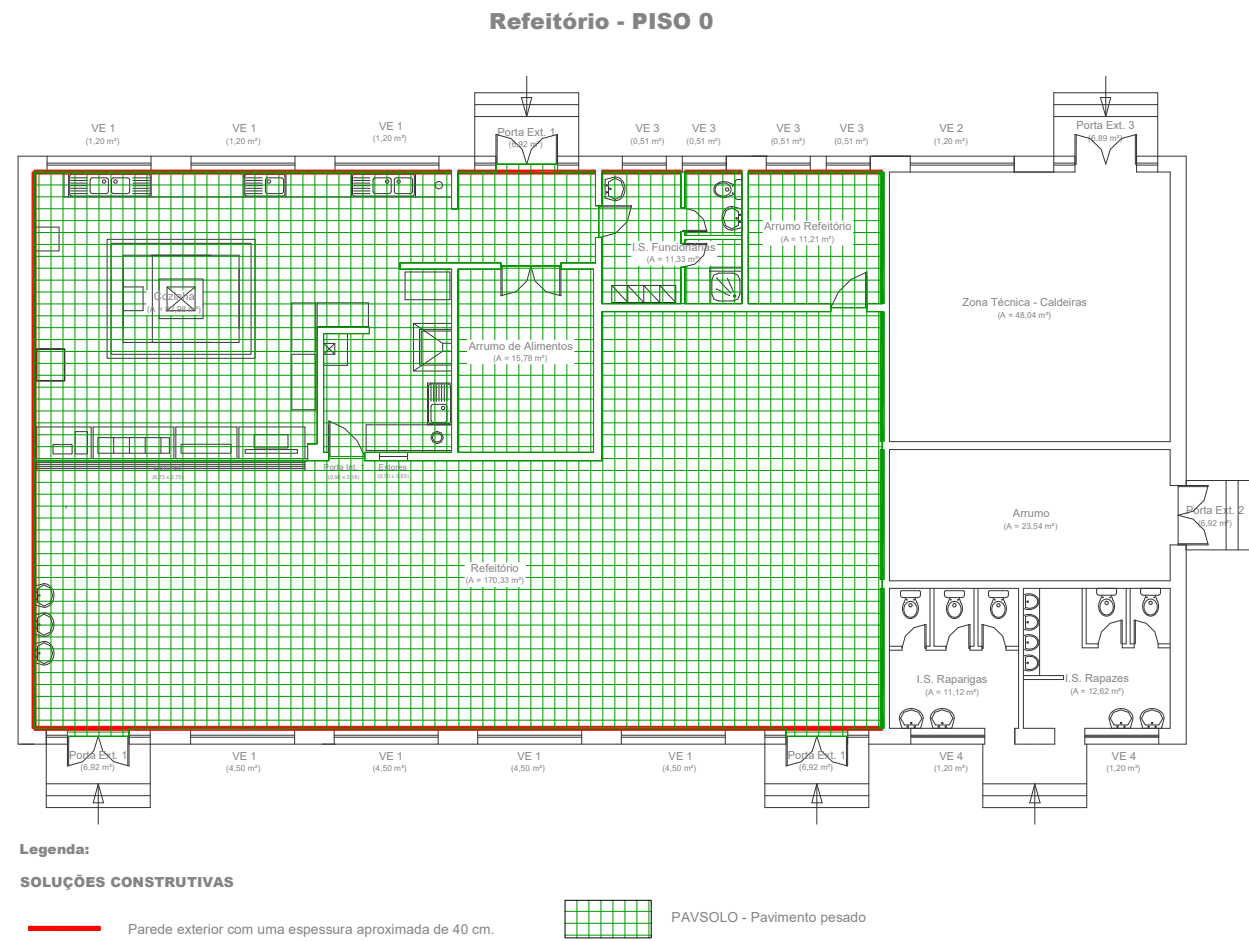


Figura 47 – Marcação da envolvente ao nível do pavimento do piso 0 do Bloco D (refeitório).

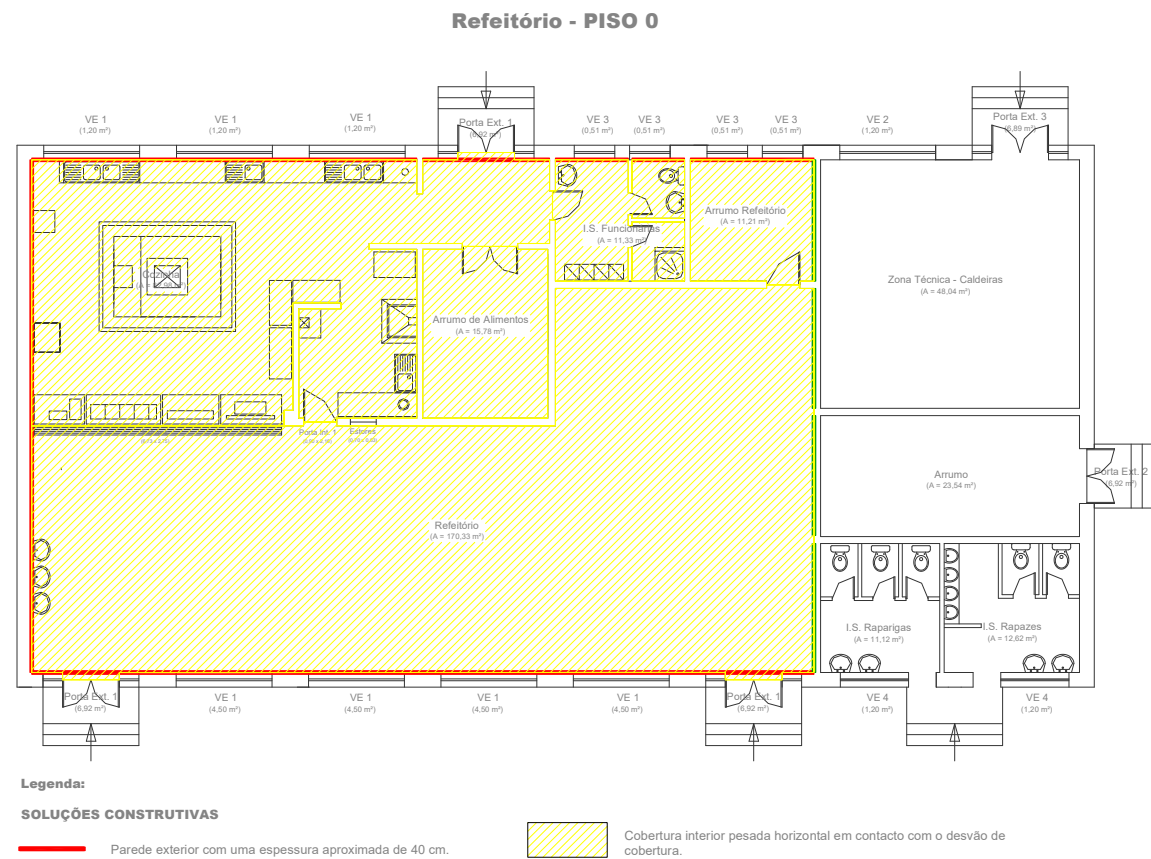


Figura 48 – Marcação da envolvente ao nível da cobertura do piso 0 do Bloco D (refeitório).

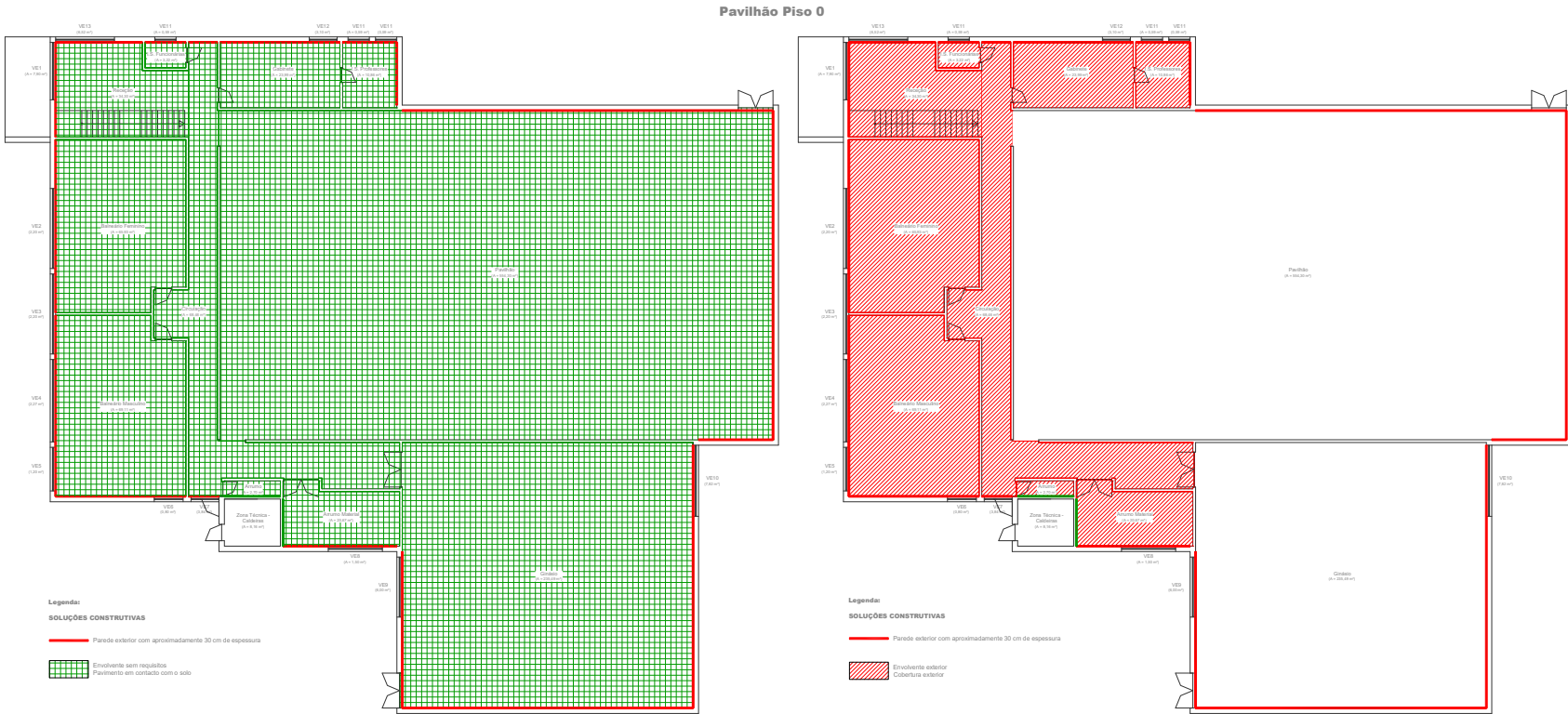


Figura 49 – Marcação da envolvente do piso 0 do Pavilhão.



Figura 50 – Marcação da envolvente do piso 1 do Pavilhão.

Portaria 1

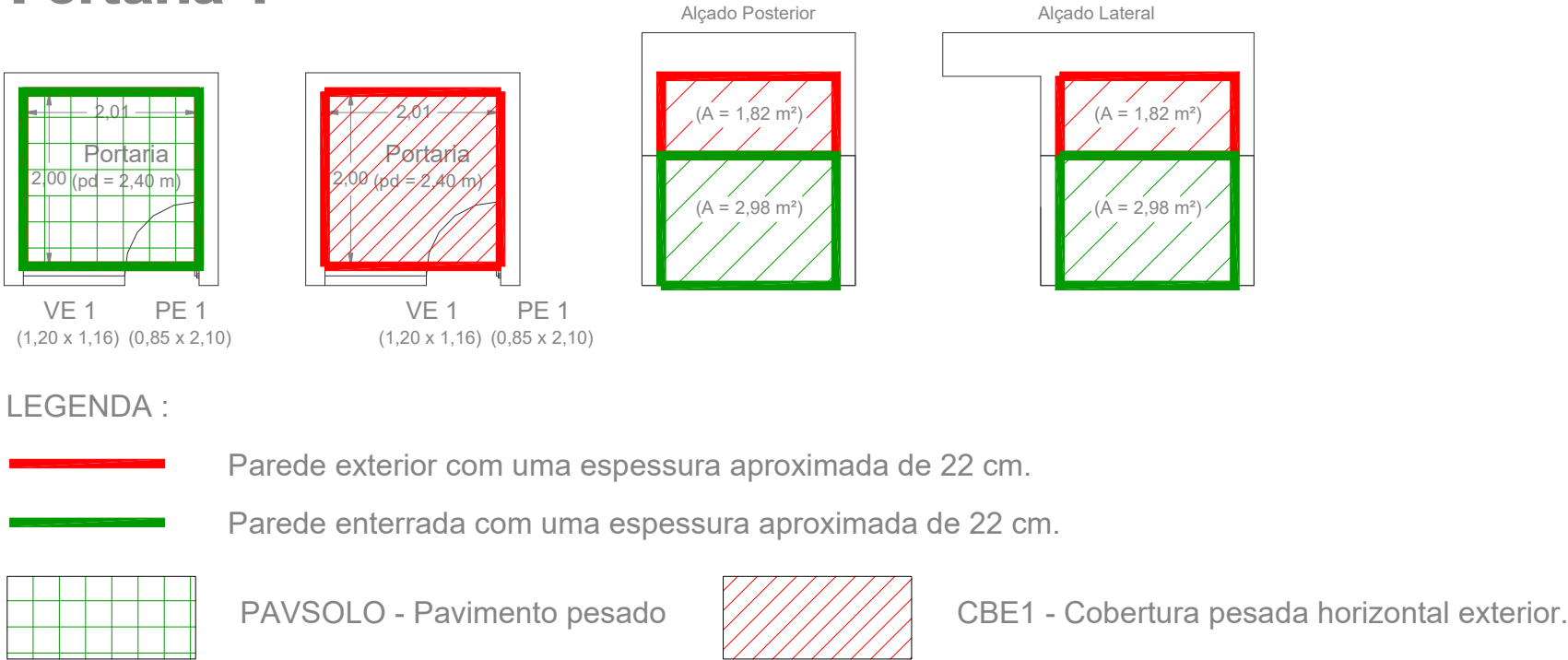
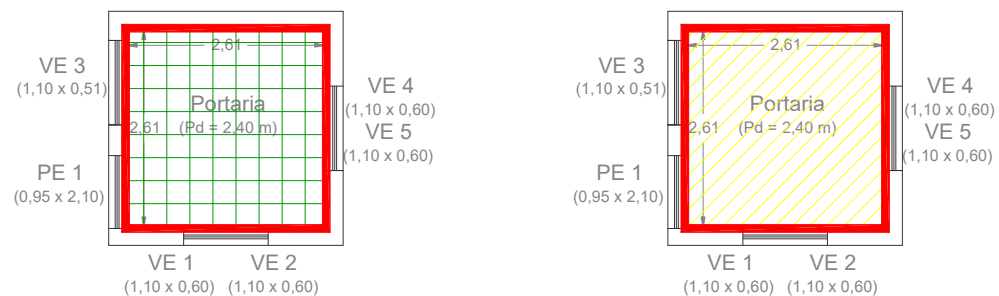


Figura 51 – Marcação da envolvente da Portaria 1.

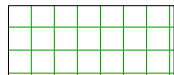
Portaria 2



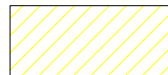
LEGENDA :



Parede exterior com uma espessura aproximada de 22 cm.



PAVSOLO - Pavimento pesado



CBI1 - Cobertura interior pesada horizontal em contacto com o desvão de cobertura.

Figura 52 – Marcação da envolvente da Portaria 2.

APÊNDICE III – APRESENTAÇÃO DETALHADA DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DA ENVOLVENTE OPACA

Do seguimento da informação apresentada no Capítulo 4 no que diz respeito às Soluções Construtivas, são enunciados detalhadamente os pressupostos e soluções adotadas para os vários elementos da envolvente opaca. Assim, para o **Bloco A** foram consideradas as seguintes soluções construtivas:

- **PDE1** – parede exterior com espessura variável entre 53 a 58 cm, existente em todas as orientações do Bloco A, revestida exteriormente com reboco seguido de pintura de cor clara (branco). Para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica, considerou-se uma espessura média de 55 cm. Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da parede exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro II.2 (Parede Rebocada (anterior a 1960) – Paredes Simples), do Anexo II do ITE54, para uma espessura de 50 cm, ao qual foi adicionada a resistência térmica de uma camada de reboco tradicional com 2,5 cm de espessura, em cada face da parede (condutibilidade térmica de $1,30 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$), obtendo-se um $U = 1,86 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [40], [41]. No seu total, a presente solução constitui $435,9 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Bloco A;
- **PDE2** – parede exterior com cerca de 18 cm de espessura, existente nas orientações Sul e Nascente do Bloco A, revestida exteriormente com reboco seguido de pintura de cor clara (branco). Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da parede exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro II.3 (Parede Rebocada (posterior a 1960) – Paredes Simples ou Duplas), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U = 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [41]. No seu total, a presente solução constitui $22,7 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Bloco A;
- **PDE3** – parede exterior com cerca de 21 cm de espessura, existente nas orientações Norte e Sul do Bloco A, revestida exteriormente com reboco seguido de pintura de cor clara (branco). Devido à falta de informação concreta acerca da

constituição da parede exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro II.3 (Parede Rebocada (posterior a 1960) – Paredes Simples ou Duplas), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U = 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [41]. No seu total, a presente solução constitui $26,8 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Bloco A;

- **PDE4** – parede exterior com espessura variável entre 35,5 a 38 cm, existente nas orientações Norte e Sul do Bloco A, revestida exteriormente com reboco seguido de pintura de cor clara (branco). Para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica considerou-se a espessura média de 37 cm. Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da parede exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro II.2 (Parede Rebocada (anterior a 1960) – Paredes Simples), do Anexo II do ITE54, para uma espessura de 34 cm, ao qual foi adicionada a resistência térmica de uma camada de reboco tradicional com 1,5 cm de espessura, em cada face da parede (condutibilidade térmica de $1,30 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$), obtendo-se um $U = 2,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [40], [41]. No seu total, a presente solução constitui $32,6 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Bloco A;
- **PDE5** – parede exterior com espessura de 13 cm, existente nas orientações Sul e Nascente do Bloco A, revestida exteriormente com reboco seguido de pintura de cor clara (branco). Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da parede exterior, optou-se por considerar uma parede de alvenaria de tijolo com 11 cm de espessura (resistência térmica de $0,27 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$), revestida com reboco tradicional com 1 cm de espessura em ambas as faces (condutibilidade térmica de $1,30 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$), obtendo-se um $U = 2,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [40], [41]. No seu total, a presente solução constitui 6 m^2 da área da envolvente do Bloco A;
- **PDE6** – parede exterior com cerca de 28 cm de espessura, existente nas orientações Sul e Nascente do Bloco A, revestida exteriormente com reboco seguido de pintura de cor clara (branco). Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da parede exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro II.3 (Parede Rebocada (posterior a 1960) – Paredes Simples ou Duplas), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [41]. No seu total, a presente solução constitui $52,1 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Bloco A;
- **PDE7** – parede exterior com espessura de aproximadamente 43 cm, existente na orientação Norte do Bloco A, revestida exteriormente com reboco seguido de

pintura de cor clara (branco). Para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica considerou-se a espessura média de 40 cm. Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da parede exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro II.2 (Parede Rebocada (anterior a 1960) – Paredes Simples), do Anexo II do ITE54, para uma espessura de 40 cm, ao qual foi adicionada a resistência térmica de uma camada de reboco tradicional com 1,5 cm de espessura, em cada face da parede (condutibilidade térmica de $1,30 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$), obtendo-se um $U = 2,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [40], [41]. No seu total, a presente solução constitui 47 m^2 da área da envolvente do Bloco A;

- **PAR SOLO 1** – parede em contacto com o solo a uma profundidade igual ou superior a 3 m, com a mesma constituição da PDE1, com espessura variável entre 53 a 58 cm, existente na zona Norte do piso 0 do Bloco A. O valor do coeficiente de transmissão térmica foi determinado com base na metodologia indicada no Despacho n.º 15793-E/2013 (regras de simplificação), tendo-se usado a resistência térmica correspondente ao coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro II.2 (Parede Rebocada (anterior a 1960) – Paredes Simples) do Anexo II do ITE54. Tendo em consideração uma espessura média de 55 cm, obteve-se um $U = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [39], [41]. No seu total, a presente solução constitui $50,8 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Bloco A;
- **PAR SOLO 2** – parede em contacto com o solo a uma profundidade igual ou superior a 3 m, com a mesma constituição da PDE4, com espessura variável entre 35,5 a 38 cm, existente na zona Norte do piso 0 do Bloco A. O valor do coeficiente de transmissão térmica foi determinado com base na metodologia indicada no Despacho n.º 15793-E/2013 (regras de simplificação), tendo-se usado a resistência térmica correspondente ao coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro II.2 (Parede Rebocada (anterior a 1960) – Paredes Simples) do Anexo II do ITE54. Tendo em consideração uma espessura média de 37 cm, obteve-se um $U = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [39], [41]. No seu total, a presente solução constitui $124,4 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Bloco A;
- **PAR SOLO 3** – parede em contacto com o solo a uma profundidade igual ou superior a 3 m, com a mesma constituição da PDE7, com espessura de aproximadamente 43 cm, existente na zona Norte do piso 0 do Bloco A. O valor do coeficiente de transmissão térmica foi determinado com base na metodologia indicada no Despacho n.º 15793-E/2013 (regras de simplificação), tendo-se usado a resistência térmica correspondente ao coeficiente de transmissão térmica retirado

a partir do Quadro II.2 (Parede Rebocada (anterior a 1960) – Paredes Simples) do Anexo II do ITE54. Tendo em consideração uma espessura média de 40 cm, obteve-se um $U = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [39], [41]. No seu total, a presente solução constitui 19 m^2 da área da envolvente do Bloco A;

- **PAV SOLO** – pavimento enterrado a uma profundidade igual ou superior a 3 m, existente em toda a área do piso 0 do Bloco A. O valor do coeficiente de transmissão térmica foi determinado com base na metodologia indicada no Despacho n.º 15793 - E/2013 (regras de simplificação), tendo-se usado a resistência térmica correspondente ao coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro III (Pavimentos e Coberturas – Pavimento Pesado), do Anexo II do ITE54, obteve-se um $U = 0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [39], [42]. No seu total, a presente solução constitui 482 m^2 da área da envolvente do Bloco A;
- **CBE1** – cobertura exterior de cor clara, existente no posto de socorros do piso 1 do Bloco A. Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da cobertura exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro III (Pavimentos e Coberturas – Cobertura Pesada Inclinação), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U_{\text{ascendente}} = 3,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e um $U_{\text{descendente}} = 2,75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [42]. No seu total, a presente solução constitui $10,3 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Bloco A;
- **CB11** – cobertura interior em contacto com desvão, existente em toda a área do piso 1 do Bloco A. Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da cobertura interior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro III (Pavimentos e Coberturas – Cobertura Pesada Horizontal), do Anexo II do ITE54, tendo-se efetuado a correção da resistência superficial exterior, em virtude de se tratar de um elemento da envolvente interior, obtendo-se um $U = 2,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [42]. No seu total, a presente solução constitui $504,5 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Bloco A.

Para os elementos que estão expostos à radiação solar, o valor de absorção da radiação solar tido em consideração foi de 0,4, uma vez que para o Bloco A, estes elementos apresentam um revestimento pelo exterior de cor clara.

Para o **Bloco C** foram consideradas as seguintes soluções construtivas:

- **PDE1** – parede exterior com cerca de 41 cm de espessura, existente em todas as orientações do Bloco C, revestida exteriormente com reboco seguido de pintura de cor clara (amarelo e branco). Devido à falta de informação concreta acerca da

constituição da parede exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro II.3 (Parede Rebocada (posterior a 1960) – Paredes Simples ou Duplas), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U = 0,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [41]. No seu total, a presente solução constitui 515,1 m² da área da envolvente do Bloco C;

- **PAV SOLO** – pavimento em contacto com o solo, existente em toda a área do piso 0 do Bloco C. O valor do coeficiente de transmissão térmica foi determinado com base na metodologia indicada no Despacho n.º 15793-E/2013 (regras de simplificação), tendo-se usado a resistência térmica correspondente ao coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro III (Pavimentos e Coberturas – Pavimento Pesado), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U = 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [39], [42]. No seu total, a presente solução constitui 483,6 m² da área da envolvente do Bloco C;
- **CBI1** – cobertura interior em contacto com desvão, existente em toda a área do piso 1 do Bloco C. Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da cobertura interior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro III (Pavimentos e Coberturas – Cobertura Pesada Horizontal), do Anexo II do ITE54, tendo-se efetuado a correção da resistência superficial exterior, em virtude de se tratar de um elemento da envolvente interior, obtendo-se um $U = 2,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [42]. No seu total, a presente solução constitui 481 m² da área da envolvente do Bloco C.

Para os elementos que estão expostos à radiação solar, o valor de absorção da radiação solar tido em consideração foi de 0,4, uma vez que para o Bloco C, estes elementos apresentam um revestimento pelo exterior de cor clara.

Para o **Bloco D** foram consideradas as seguintes soluções construtivas:

- **PDE1** – parede exterior com cerca de 40 cm de espessura, existente em todas as orientações do Bloco D, revestida exteriormente com reboco seguido de pintura de cor clara (amarelo e branco). Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da parede exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro II.3 (Parede Rebocada (posterior a 1960) – Paredes Simples ou Duplas), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U = 0,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [41]. No seu total, a presente solução constitui 144,7 m² da área da envolvente do Bloco D;
- **PDI1** – parede interior com cerca de 18 cm de espessura, em contacto com zona técnica, instalações sanitárias e arrumo, revestida exteriormente com reboco

seguido de pintura de cor clara (branco). Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da parede exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro II.3 (Parede Rebocada (posterior a 1960) – Paredes Simples ou Duplas), do Anexo II do ITE54, fazendo a correção para as resistências interiores, obtendo-se um $U = 1,49 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [41]. No seu total, a presente solução constitui $45,3 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Bloco D;

- **PAV SOLO** – pavimento em contacto com o solo em toda a área do piso do Bloco D. O valor do coeficiente de transmissão térmica foi determinado com base na metodologia indicada no Despacho n.º 15793-E/2013 (regras de simplificação), tendo-se usado a resistência térmica correspondente ao coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro III (Pavimentos e Coberturas – Pavimento Pesado), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U = 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [39], [42]. No seu total, a presente solução constitui $291,6 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Bloco D;
- **CB11** – cobertura interior em contacto com desvão em toda a área do piso do Bloco D. Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da cobertura interior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro III (Pavimentos e Coberturas – Cobertura Pesada Horizontal), do Anexo II do ITE54, tendo-se efetuado a correção da resistência superficial exterior em virtude de se tratar de um elemento da envolvente interior, obtendo-se um $U = 2,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [42]. No seu total, a presente solução constitui $291,6 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Bloco D.

Para os elementos que estão expostos à radiação solar, o valor de absorção da radiação solar tido em consideração foi de 0,4, uma vez que para o Bloco D, estes elementos apresentam um revestimento pelo exterior de cor clara.

Para o **Pavilhão** foram consideradas as seguintes soluções construtivas:

- **PDE1** – parede exterior com cerca de 30 cm de espessura, existente em todas as orientações do Pavilhão, revestida exteriormente com reboco seguido de pintura de cor clara (amarelo e branco). Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da parede exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro II.3 (Parede Rebocada (posterior a 1960) – Paredes Simples ou Duplas), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U = 0,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [41]. No seu total, a presente solução constitui $698,7 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Pavilhão;

- **PDI1** – parede interior com cerca de 15 cm de espessura, em contacto com a zona técnica, revestida exteriormente com reboco seguida de pintura de cor clara (branco). Devido à falta de informação concreta acerca da constituição deste elemento, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro II.3 (Parede Rebocada (posterior a 1960) – Paredes Simples ou Duplas), do Anexo II do ITE54, fazendo a correção para as resistências interiores, obtendo-se um $U = 1,78 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ [41]. No seu total, a presente solução constitui $15,82 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Pavilhão;
- **PAV SOLO** – pavimento em toda a área do piso do Pavilhão. O valor do coeficiente de transmissão térmica foi determinado com base na metodologia indicada no Despacho n.º 15793-E/2013 (regras de simplificação), tendo-se usado a resistência térmica correspondente ao coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro III (Pavimentos e Coberturas – Pavimento Pesado), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U = 1,00 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ [39], [42]. No seu total, a presente solução constitui $1\,097,5 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Pavilhão;
- **CBE1** – cobertura exterior, na zona de jogo e ginásio do Pavilhão, em chapa de aço com 3 mm de espessura e condutibilidade térmica $50 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$, com um $U = 7,14 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ [40]. No seu total, a presente solução constitui $790,1 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Pavilhão;
- **CBE2** – cobertura exterior, nos gabinetes, receção, balneários e instalações sanitárias do Pavilhão. Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da cobertura exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro III (Pavimentos e Coberturas – Cobertura Pesada Horizontal), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U = 2,60 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ [42]. No seu total, a presente solução constitui $307,4 \text{ m}^2$ da área da envolvente do Pavilhão.

Para os elementos que estão expostos à radiação solar, o valor de absorção da radiação solar tido em consideração foi de 0,4, uma vez que para o Pavilhão, estes elementos apresentam um revestimento pelo exterior de cor clara.

Para a **Portaria 1** foram consideradas as seguintes soluções construtivas:

- **PDE1** – parede exterior com cerca de 22 cm de espessura, existente em todas as orientações, revestido interior e exteriormente, com reboco seguido de pintura de cor clara (branco). Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da parede exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica

retirado a partir do Quadro II.3 (Parede Rebocada (posterior a 1960) – Paredes Simples ou Duplas), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U = 1,43 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [41]. No seu total, a presente solução constitui $7,1 \text{ m}^2$ da área da envolvente da Portaria1;

- **PAR SOLO** – parede em contacto com o solo, a uma profundidade igual ou superior a 1,5 m, com a mesma constituição da PDE1, com espessura de 22 cm, existente nas orientações Norte, Este e Oeste da Portaria 1. O valor do coeficiente de transmissão térmica foi determinado com base na metodologia indicada no Despacho n.º 15793-E/2013 (regras de simplificação), tendo-se usado a resistência térmica correspondente ao coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro II.3 (Parede Rebocada (posterior a 1960) – Paredes Simples ou Duplas) do Anexo II do ITE54. Tendo em consideração uma espessura média de 22 cm, obteve-se um $U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [39], [41]. No seu total, a presente solução constitui $8,9 \text{ m}^2$ da área da envolvente da Portaria 1;
- **PAV SOLO** – pavimento enterrado a uma profundidade igual ou superior a 3 m, existente em toda a área da Portaria 1. O valor do coeficiente de transmissão térmica foi determinado com base na metodologia indicada no Despacho n.º 15793 - E/2013 (regras de simplificação), tendo-se usado a resistência térmica correspondente ao coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro III (Pavimentos e Coberturas – Pavimento Pesado), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U = 0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [39], [42]. No seu total, a presente solução constitui $4,1 \text{ m}^2$ da área da envolvente da Portaria 1;
- **CBE1** – cobertura exterior da Portaria 1. Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da cobertura exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro III (Pavimentos e Coberturas – Cobertura Pesada Horizontal), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U = 2,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [42]. No seu total, a presente solução constitui $4,1 \text{ m}^2$ da área da envolvente da Portaria 1;

Para os elementos que estão expostos à radiação solar, o valor de absorção da radiação solar tido em consideração foi de 0,4, uma vez que na Portaria 1, estes elementos apresentam um revestimento pelo exterior de cor clara.

Por último, para a **Portaria 2**, que não está ativa, foram consideradas as seguintes soluções construtivas:

- **PDE1** – apresenta os mesmos pressupostos e soluções anteriormente descritos para a Portaria 1. No seu total, a presente solução constitui 19,9 m² da área da envolvente da Portaria 2;
- **PAV SOLO** – pavimento em toda a área do piso da Portaria 2. O valor do coeficiente de transmissão térmica foi determinado com base na metodologia indicada no Despacho n.º 15793-E/2013 (regras de simplificação), tendo-se usado a resistência térmica correspondente ao coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro III (Pavimentos e Coberturas – Pavimento Pesado), do Anexo II do ITE54, obtendo-se um $U = 1,00 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ [39], [42]. No seu total, a presente solução constitui 6,8 m² da área da envolvente da Portaria 2;
- **CBI1** – cobertura interior em contacto com desvão em toda a área da Portaria 2. Devido à falta de informação concreta acerca da constituição da cobertura exterior, optou-se por adotar o valor do coeficiente de transmissão térmica retirado a partir do Quadro III (Pavimentos e Coberturas – Cobertura Pesada Horizontal), do Anexo II do ITE54, tendo-se efetuado a correção da resistência superficial exterior, em virtude de se tratar de um elemento da envolvente interior, obtendo-se um $U = 2,25 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ [42]. No seu total, a presente solução constitui 6,8 m² da área da envolvente da Portaria 2.

Para os elementos que estão expostos à radiação solar, o valor de absorção da radiação solar tido em consideração foi de 0,4, uma vez que para na Portaria 2, estes elementos apresentam um revestimento pelo exterior de cor clara.

SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DA ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA

Com o intuito de apresentar detalhadamente todos os elementos da envolvente envidraçada, apresentados nas soluções construtivas do Capítulo 4, são enunciados todos os pressupostos e soluções que constituem o Complexo Escolar.

Para a determinação do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado (U_w) foi necessário recorrer ao Quadro III.2 (Vãos envidraçados verticais – Caixilharia metálica) do Anexo III do ITE50 [40].

Para o **Bloco A** foram consideradas as seguintes condições para os elementos de envolvente envidraçada:

- **EVE1** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio basculante, sem corte térmico, com vidro duplo, fosco ou incolor, com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 10 mm de espessura. Estes apresentam elementos de proteção solar pelo interior, do tipo estore vertical ou horizontal de lâminas em tecido, de cor clara. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obteve-se o fator solar global de 0,49 e um $U_w = 4,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE1, VE2, VE8, VE9, VE10, VE12, perfazendo no seu total uma área de 54,50 m²;
- **EVE2** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio de correr, sem corte térmico, com vidro duplo, fosco ou incolor, com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 12 mm de espessura. Estes apresentam elementos de proteção solar pelo interior, do tipo estore vertical ou horizontal de lâminas em tecido, de cor clara. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obteve-se o fator solar global de 0,49 e um $U_w = 4,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE1, VE2, VE3, VE8, VE9, VE10, VE12, perfazendo no seu total uma área de 64,42 m²;
- **EVE3** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio basculante, sem corte térmico, com vidro duplo, fosco ou incolor, com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 10 mm de espessura e não apresentam qualquer elemento de proteção solar. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,78 e um $U_w = 4,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE5, VE6, VE11, VE13, VE14, VE16, VE17, Porta Ext.1, perfazendo no seu total uma área de 19,07 m²;
- **EVE4** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio de correr, sem corte térmico, com vidro duplo, fosco ou incolor, com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 12 mm de espessura e não apresentam

qualquer elemento de proteção solar. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,78 e um $U_w = 4,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE5, VE18, perfazendo no seu total uma área de $0,77 \text{ m}^2$;

- **EVE5** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio basculante, sem corte térmico, com vidro duplo incolor com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 10 mm de espessura. Estes apresentam elementos de proteção solar pelo interior, do tipo cortina ligeiramente transparente de cor clara. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,40 e um $U_w = 4,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE4, VE7, perfazendo no seu total uma área de $5,10 \text{ m}^2$;
- **EVE6** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio fixa, sem corte térmico, com vidro duplo, fosco ou incolor, com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 12 mm de espessura e não apresentam qualquer elemento de proteção solar. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,78 e um $U_w = 3,74 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE15, Porta Ext.1, VE18, perfazendo no seu total uma área de $10,90 \text{ m}^2$;
- **EVE7** – apresenta-se como vão envidraçado exterior simples, em caixilharia de alumínio fixa, sem corte térmico, com vidro duplo incolor, com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 10 mm de espessura. Este apresenta elementos de proteção solar pelo interior, do tipo estore vertical de lâminas em tecido, de cor clara. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar

global de 0,49 e um $U_w = 3,74 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O vão que incorpora esta solução é a Porta Ext.2, perfazendo no seu total uma área de $0,89 \text{ m}^2$;

- **EVE8** – apresenta-se como vão envidraçado exterior simples, em caixilharia de alumínio de correr, sem corte térmico, com vidro duplo incolor com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 10 mm de espessura. Este apresenta elementos de proteção solar pelo interior, do tipo cortina ligeiramente transparente de cor clara. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,40 e um $U_w = 4,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O vão que incorpora esta solução é a VE4, perfazendo no seu total uma área de $1,55 \text{ m}^2$.

Para o **Bloco C** foram consideradas as seguintes condições para os elementos de envolvente envidraçada:

- **EVE1** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio basculante, sem corte térmico, com vidro duplo incolor com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 10 mm de espessura. Estes apresentam elementos de proteção solar pelo exterior, do tipo persiana de réguas plásticas de cor clara. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,04 e um $U_w = 4,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE1, VE3, VE4, VE6, perfazendo no seu total uma área de $34,37 \text{ m}^2$;
- **EVE2** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio de correr, sem corte térmico, com vidro duplo com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 12 mm de espessura. Estes apresentam elementos de proteção solar pelo exterior, do tipo persiana de réguas plásticas de cor clara. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global

de 0,04 e um $U_w = 4,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE1, VE3, VE4, VE6, perfazendo no seu total uma área de $94,36 \text{ m}^2$;

- **EVE3** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio giratória/basculante, sem corte térmico, com vidro duplo incolor com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 10 mm de espessura e não apresentam qualquer elemento de proteção solar. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,78 e um $U_w = 4,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE2, VE5, Porta Ext.1, Porta Ext.2, perfazendo no seu total uma área de $12,69 \text{ m}^2$;
- **EVE4** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio fixa, sem corte térmico, com vidro duplo incolor com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 10 mm de espessura. Estes apresentam elementos de proteção solar pelo exterior, do tipo persiana de réguas plásticas de cor clara. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,04 e um $U_w = 3,74 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE3, VE4, VE6, perfazendo no seu total uma área de $1,96 \text{ m}^2$;
- **EVE5** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio fixa, sem corte térmico, com vidro duplo incolor com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 10 mm de espessura e não apresentam qualquer elemento de proteção solar. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,78 e um $U_w = 3,74 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE5, VE7, Porta Ext.1, Porta Ext.2, perfazendo no seu total uma área de $11,95 \text{ m}^2$.

Para o **Bloco D** foram consideradas as seguintes condições para os elementos de envolvente envidraçada:

- **EVE1** – apresenta-se como vão envidraçado exterior simples, em caixilharia de alumínio basculante, sem corte térmico, com vidro duplo incolor com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 10 mm de espessura. Este apresenta elementos de proteção solar pelo exterior, do tipo persiana de réguas plásticas de cor clara. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,04 e um $U_w = 4,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O vão que incorpora esta solução é a VE1, perfazendo no seu total uma área de $4,12 \text{ m}^2$;
- **EVE2** – apresenta-se como vão envidraçado exterior simples, em caixilharia de alumínio de correr, sem corte térmico, com vidro duplo incolor com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 12 mm de espessura. Este apresenta elementos de proteção solar pelo exterior, do tipo persiana de réguas plásticas de cor clara. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,04 e um $U_w = 4,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O vão que incorpora esta solução é a VE1, perfazendo no seu total uma área de $12,90 \text{ m}^2$;
- **EVE3** – apresenta-se como vão envidraçado exterior simples, em caixilharia de alumínio fixa, sem corte térmico, com vidro duplo incolor com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 10 mm de espessura. Este apresenta elementos de proteção solar pelo exterior, do tipo persiana de réguas plásticas de cor clara. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,04 e um $U_w = 3,74 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O vão que incorpora esta solução é a VE1, perfazendo no seu total uma área de $0,98 \text{ m}^2$;
- **EVE4** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio basculante, sem corte térmico, com vidro duplo incolor com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 10 mm de espessura e não apresentam qualquer elemento de proteção solar. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado

para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,78 e um $U_w = 4,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE2, VE3, Porta Ext.1, Porta Ext.2, Porta Ext.3, perfazendo no seu total uma área de $15,96 \text{ m}^2$;

- **EVE5** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio fixa, sem corte térmico, com vidro duplo incolor com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 10 mm de espessura e não apresentam qualquer elemento de proteção solar. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,78 e um $U_w = 3,74 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE2, Porta Ext.1, Porta Ext.2, Porta Ext.3, perfazendo no seu total uma área de $10,68 \text{ m}^2$.

Para o **Pavilhão** foram consideradas as seguintes condições para os elementos de envolvente envidraçada:

- **EVE1** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio giratória/basculante, sem corte térmico, com vidro simples, fosco ou incolor com 4 mm de espessura e não apresentam qualquer elemento de proteção solar. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,88 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,88 e um $U_w = 6,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE1, VE2, VE3, VE4, VE5, VE6, VE7, VE8, VE11, perfazendo no seu total uma área de $13,63 \text{ m}^2$;
- **EVE2** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio fixa, sem corte térmico, com vidro simples, fosco ou incolor com 4 mm de espessura e não apresentam qualquer elemento de proteção solar. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,88 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global

de 0,88 e um $U_w = 6,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE1, VE2, VE3, VE4, VE5, VE6, VE7, VE8, VE9, VE10, VE11, VE13, perfazendo no seu total uma área de $30,86 \text{ m}^2$.

- **EVE3** – apresenta-se como vão envidraçado exterior simples, em caixilharia de alumínio giratória/basculante, sem corte térmico, com vidro simples, fosco ou incolor, com 4 mm de espessura. Este apresenta elementos de proteção solar pelo exterior, do tipo persianas interiores em madeira de cor clara. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,88 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,41 e um $U_w = 6,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O vão que incorpora esta solução é a VE12, perfazendo no seu total uma área de $0,86 \text{ m}^2$;
- **EVE4** – apresenta-se como vão envidraçado exterior simples, em caixilharia de alumínio fixa, sem corte térmico, com vidro simples, fosco ou incolor, com 4 mm de espessura. Este apresenta elementos de proteção solar pelo exterior, do tipo persianas interiores em madeira de cor clara. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,88 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,41 e um $U_w = 6,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O vão que incorpora esta solução é a VE12, perfazendo no seu total uma área de $2,05 \text{ m}^2$.

Para a **Portaria 1** foram consideradas as seguintes condições para os elementos de envolvente envidraçada:

- **EVE1** – apresenta-se como vão envidraçado exterior simples, em caixilharia de alumínio de correr, sem corte térmico, com vidro duplo incolor com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 14 mm de espessura e não apresenta qualquer elemento de proteção solar. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,78 e um $U_w = 4,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O vão que incorpora esta solução é a VE1, perfazendo no seu total uma área de $1,39 \text{ m}^2$;

- **EVE2** – apresenta-se como vão envidraçado exterior simples, em caixilharia de alumínio giratória, sem corte térmico, com vidro duplo incolor com (4+4) mm de espessura e lâmina de ar com 14 mm de espessura e não apresenta qualquer elemento de proteção solar. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,78 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,78 e um $U_w = 3,90 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$. O vão que incorpora esta solução é a PE2, perfazendo no seu total uma área de $1,79 \text{ m}^2$.

Por último, para a **Portaria 2**, que não está ativa, foram consideradas as seguintes condições para os elementos de envolvente envidraçada:

- **EVE1** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio de correr, sem corte térmico, com vidro simples incolor com 4 mm de espessura e não apresentam qualquer elemento de proteção solar. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,88 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,88 e um $U_w = 6,50 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE1, VE4, perfazendo no seu total uma área de $1,32 \text{ m}^2$;
- **EVE2** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio fixa, sem corte térmico, com vidro simples incolor com 4 mm de espessura e não apresentam qualquer elemento de proteção solar. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,88 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,88 e um $U_w = 6,00 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE2, VE5, perfazendo no seu total uma área de $1,32 \text{ m}^2$;
- **EVE3** – apresentam-se como vãos envidraçados exteriores simples, em caixilharia de alumínio giratória, sem corte térmico, com vidro simples incolor com 4 mm de espessura e não apresentam qualquer elemento de proteção solar. Devido à falta de informação concreta acerca do fator solar do vidro aplicado no vão envidraçado, optou-se por adotar o valor tabelado para este a partir da Tabela 12 do Despacho

n.º 15793-K/2013, obtendo-se o fator solar do vidro de 0,88 [33]. Segundo a metodologia apresentada no Capítulo 3, obtendo-se o fator solar global de 0,88 e um $U_w = 6,20 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$. Os vãos que incorporam esta solução são os números VE3, PE1, perfazendo no seu total uma área de $2,56 \text{ m}^2$;

APÊNDICE IV – SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

De modo a completar e detalhar a informação apresentada no Capítulo 4, no que se refere aos Sistemas Consumidores de Energia, é apresentado a constituição do sistema de iluminação do Complexo Escolar, decorrente do levantamento efetuado. Para isso, apresenta-se esse levantamento na Tabela 56 para o Bloco A, na Tabela 57 para o Bloco C, na Tabela 58 para o Bloco D, na Tabela 59 para o Pavilhão, na Tabela 60 para as Portarias e na Tabela 61 para a iluminação exterior.

Para o sistema de iluminação do edifício de referência, são apresentados na Tabela 62 os parâmetros necessários para o cálculo da densidade de potência de iluminação de referência por espaço. Os valores de DPI foram obtidos segundo a portaria n.º 17-A/2016 e os valores de iluminância segundo a Norma EN 12464-1.

Tabela 56 – Levantamento do sistema de iluminação do Bloco A.

ILUMINAÇÃO INTERIOR BLOCO A									
Zona	Espaço	Tipologia	Tipo de Lâmpada	Potência [W]	Nº de Lâmpadas	Nº de Luminárias	Tipo de Balastro	Controlo da Iluminação	Potência Absorvida [W]
Z01	I.S. Rapazes	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	1	Eletrónico	Não	79,20
Z01	Lavandaria	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	1	Eletrónico	Não	79,20
Z01	I.S. Raparigas	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	2	Eletrónico	Não	158,40
Z02	Arquivo BE	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	2	Eletrónico	Não	158,40
Z03	Sala de Pessoal	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	1	Ferromagnético	Não	150,80
Z03	Arrumo BE	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Compacta	18	1	1	-	Não	18,00
Z03	Hall Arquivo BE	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	1	Ferromagnético	Não	93,60
Z06	Corredor Oeste	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	3	Ferromagnético	Não	280,80
Z06	I.S. Deficientes	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	19	1	1	Eletrónico	Sim	17,20
Z04	Cozinha	Cozinhas	Fluorescente Tubular T8	19	2	2	Ferromagnético	Não	76,00
Z05	UEEA	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	4	Ferromagnético	Não	603,20
Z06	Hall de Entrada	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	2	Ferromagnético	Não	187,20
Z06	Arrumos Limpeza	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	1	1	Eletrónico	Não	39,60

ILUMINAÇÃO INTERIOR BLOCO A									
Zona	Espaço	Tipologia	Tipo de Lâmpada	Potência [W]	Nº de Lâmpadas	Nº de Luminárias	Tipo de Balastro	Controlo da Iluminação	Potência Absorvida [W]
Z06	Corredor Este	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	2	Ferromagnético	Não	187,20
Z06	I.S. Funcionários	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	1	2	Ferromagnético	Não	93,60
Z07	Servidor	Zonas Técnicas	Fluorescente Tubular T8	58	2	1	Ferromagnético	Não	150,80
Z08	Concelho Executivo	Escritórios	Fluorescente Tubular T8	58	2	2	Ferromagnético	Não	301,60
Z09	CAF	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	7	Ferromagnético	Não	1 055,60
Z09	Antigo Bar	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	1	Ferromagnético	Não	150,80
Z09	I.S. CAF	Ensino Básico (1º Ciclo)	Incandescente	40	1	2	-	Não	80,00
Z10	Arrumos	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	1	2	Eletrónico	Não	79,20
Z10	Corredor Arrumos	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	1	Ferromagnético	Não	150,80
				36	1	1	Eletrónico	Não	39,60
Z11	Biblioteca	Bibliotecas	Fluorescente Tubular T8	58	2	8	Ferromagnético	Não	1 206,40
Z12	Bar	Bar	Fluorescente Tubular T8	36	2	4	Ferromagnético	Não	374,40
Z13	Salas de aulas 1.0	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	6	Ferromagnético	Não	561,60
				36	1	3	Ferromagnético	Não	140,40
Z15	Sala dos Professores	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	4	Ferromagnético	Não	374,40
Z15	Sala de Trabalhos	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	2	Ferromagnético	Não	187,20

ILUMINAÇÃO INTERIOR BLOCO A									
Zona	Espaço	Tipologia	Tipo de Lâmpada	Potência [W]	Nº de Lâmpadas	Nº de Luminárias	Tipo de Balastro	Controlo da Iluminação	Potência Absorvida [W]
Z14	Corredor Central	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	3	Ferromagnético	Não	280,80
			Fluorescente compacta 2P	26	1	2	-	Não	52,00
Z14	Posto socorro	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	1	Ferromagnético	Não	93,60
Z16	Reprografia/ Papelaria	Escritórios	Fluorescente Tubular T8	36	2	6	Ferromagnético	Não	561,60
Z17	Salas de aulas 1.1	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	4	Ferromagnético	Não	374,40
				36	1	3	Ferromagnético	Não	140,40
Z18	Corredor Lateral	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	4	Ferromagnético	Não	374,40
Z18	I.S.	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Compacta	18	1	1	-	Não	18,00
Z19	Sala de Aulas1.3	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	4	Ferromagnético	Não	603,20
Z20	Sala de Aulas 1.2	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	4	Ferromagnético	Não	603,20

Tabela 57 – Levantamento do sistema de iluminação para o Bloco C.

ILUMINAÇÃO INTERIOR BLOCO C									
Zona	Espaço	Tipologia	Tipo de Lâmpada	Potência [W]	Nº de Lâmpadas	Nº de Luminárias	Tipo de Balastro	Controlo da Iluminação	Potência Absorvida [W]
Z03	Sala de Aula 0.1	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	6	Ferromagnético	Não	904,80
			Fluorescente Tubular T8	36	1	2	Ferromagnético	Não	93,60
Z03	Sala de Aula 0.2	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	6	Ferromagnético	Não	904,80
			Fluorescente Tubular T8	36	1	2	Ferromagnético	Não	93,60
Z03	Sala de Aula 0.3	Ensino Básico (1º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	5	Ferromagnético	Não	754,00
			Fluorescente Tubular T8	36	1	2	Ferromagnético	Não	93,60
Z05	Arrumo 1	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	1	1	Ferromagnético	Não	46,80
Z04	Arrumo 2	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	1	1	Ferromagnético	Não	46,80
Z05	Arrumo Limpeza	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	1	1	Ferromagnético	Não	75,40
Z02	Sala das Máquinas	Zonas Técnicas	Fluorescente Tubular T8	36	2	1	Eletrónico	Não	79,20
Z05	I.S. Deficientes	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	1	1	Ferromagnético	Não	46,80
Z04	Sala de Ciências	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Compacta	36	3	12	Ferromagnético	Não	1 684,80
			Fluorescente Tubular T8	36	1	2	Ferromagnético	Não	93,60

ILUMINAÇÃO INTERIOR BLOCO C									
Zona	Espaço	Tipologia	Tipo de Lâmpada	Potência [W]	Nº de Lâmpadas	Nº de Luminárias	Tipo de Balastro	Controlo da Iluminação	Potência Absorvida [W]
Z05	Corredor Norte	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Compacta	36	2	4	Ferromagnético	Não	374,40
			Fluorescente Tubular T8	36	1	1	Ferromagnético	Não	46,80
Z01	Hall de entrada	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Compacta	36	3	6	Ferromagnético	Não	842,40
Z01	Arrumo das Ciências	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	1	Ferromagnético	Não	93,60
Z01	Arrumo do EVT	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	1	Ferromagnético	Não	93,60
Z06	Sala de EVT	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Compacta	36	3	18	Ferromagnético	Não	2 527,20
			Fluorescente Tubular T8	36	1	2	Ferromagnético	Não	93,60
Z08	Sala de Aulas 1.1	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	6	Ferromagnético	Não	904,80
			Fluorescente Tubular T8	36	1	2	Ferromagnético	Não	93,60
Z08	Sala de Aulas 1.2	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	6	Ferromagnético	Não	904,80
			Fluorescente Tubular T8	36	1	2	Ferromagnético	Não	93,60
Z08	Sala de Aulas 1.3	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	6	Ferromagnético	Não	904,80
			Fluorescente Tubular T8	36	1	2	Ferromagnético	Não	93,60
Z07	Sala de Aulas 1.4	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	6	Ferromagnético	Não	904,80

ILUMINAÇÃO INTERIOR BLOCO C									
Zona	Espaço	Tipologia	Tipo de Lâmpada	Potência [W]	Nº de Lâmpadas	Nº de Luminárias	Tipo de Balastro	Controlo da Iluminação	Potência Absorvida [W]
			Fluorescente Tubular T8	36	1	4	Ferromagnético	Não	187,20
Z07	Sala de Aulas 1.5	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	2	6	Ferromagnético	Não	904,80
			Fluorescente Tubular T8	36	1	4	Ferromagnético	Não	187,20
Z09	Laboratório de Informática	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	4	Ferromagnético	Não	374,40
			Fluorescente Tubular T8	36	1	2	Ferromagnético	Não	93,60
Z09	Gabinete 1	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	4	Ferromagnético	Não	374,40
			Fluorescente Tubular T8	36	1	2	Ferromagnético	Não	93,60
Z09	Gabinete 2	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	36	2	4	Ferromagnético	Não	374,40
			Fluorescente Tubular T8	36	1	2	Ferromagnético	Não	93,60
Z01	Hall do 1º Piso	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Compacta	36	2	6	Ferromagnético	Não	561,60
Z01	I.S. Rapazes	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	1	1	Ferromagnético	Não	75,40
Z01	I.S. Raparigas	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Tubular T8	58	1	1	Ferromagnético	Não	75,40
Z01	Escadas	Ensino Básico (2º Ciclo)	Fluorescente Compacta	36	2	2	Ferromagnético	Não	187,20

Tabela 58 – Levantamento do sistema de iluminação para o Bloco D.

ILUMINAÇÃO INTERIOR BLOCO D									
Zona	Espaço	Tipologia	Tipo de Lâmpada	Potência [W]	Nº de Lâmpadas	Nº de Luminárias	Tipo de Balastro	Controlo da Iluminação	Potência Absorvida [W]
Z01	Cozinha	Cozinhas	Fluorescente Tubular T8	58	2	7	Ferromagnético	Não	1 055,60
			Fluorescente Tubular T8	58	1	4	Ferromagnético	Não	301,60
Z01	Arrumo de Alimentos	Cozinhas	Fluorescente Tubular T8	58	2	1	Ferromagnético	Não	150,80
Z01	I.S. Funcionárias	Cozinhas	Fluorescente Tubular T8	58	1	1	Ferromagnético	Não	75,40
Z02	Arrumo Refeitório	Cozinhas	Fluorescente Tubular T8	58	1	1	Ferromagnético	Não	75,40
Z03	Zona das Caldeiras	Zonas Técnicas	Fluorescente Tubular T8	58	2	4	Ferromagnético	Não	603,20
Z04	Arrumo	Armazém	Fluorescente Tubular T8	58	2	2	Ferromagnético	Não	301,60
Z04	I.S. Reparigas	Armazém	Fluorescente Tubular T8	58	1	1	Ferromagnético	Sim	62,32
Z04	I.S. Rapazes	Armazém	Fluorescente Tubular T8	58	1	1	Ferromagnético	Sim	62,32
Z02	Refeitório	Cozinhas	Fluorescente Tubular T8	36	2	14	Ferromagnético	Não	1 310,40

Tabela 59 – Levantamento do sistema de iluminação para o Pavilhão.

ILUMINAÇÃO INTERIOR PAVILHÃO									
Zona	Espaço	Tipologia	Tipo de Lâmpada	Potência [W]	Nº de Lâmpadas	Nº de Luminárias	Tipo de Balastro	Controlo da Iluminação	Potência Absorvida [W]
Z01	Receção	Clube Desportivo sem Piscinas	Fluorescente Compacta	18	2	3	Ferromagnético	Não	140,40
Z02	Gabinete	Clube Desportivo sem Piscinas	Fluorescente Tubular T8	36	2	3	Ferromagnético	Não	280,80
Z01	I.S. Funcionários	Clube Desportivo sem Piscinas	Incandescente	75	1	1	-	Não	75,00
Z04	Balneário Feminino	Clube Desportivo sem Piscinas	Incandescente	75	1	2	-	Não	150,00
			Fluorescente Tubular T8	18	1	3	Ferromagnético	Não	70,20
			Fluorescente Tubular T8	58	2	4	Ferromagnético	Não	603,20
			Fluorescente Tubular T8	36	1	4	Ferromagnético	Não	187,20
Z04	Balneário Masculino	Clube Desportivo sem Piscinas	Incandescente	75	1	2	-	Não	150,00
			Fluorescente Tubular T8	18	1	3	Ferromagnético	Não	70,20
			Fluorescente Tubular T8	58	2	4	Ferromagnético	Não	603,20
			Fluorescente Tubular T8	36	1	4	Ferromagnético	Não	187,20
Z01	Circulação	Clube Desportivo sem Piscinas	Fluorescente Compacta	18	2	1	-	Não	36,00
			Fluorescente Tubular T8	36	1	13	Ferromagnético	Não	608,40
Z01	Arrumo	Clube Desportivo sem Piscinas	Incandescente	75	1	1	-	Não	75,00

ILUMINAÇÃO INTERIOR PAVILHÃO									
Zona	Espaço	Tipologia	Tipo de Lâmpada	Potência [W]	Nº de Lâmpadas	Nº de Luminárias	Tipo de Balastro	Controlo da Iluminação	Potência Absorvida [W]
Z01	Arrumo Material	Clube Desportivo sem Piscinas	Fluorescente Tubular T8	36	1	3	Ferromagnético	Não	140,40
Z05	Zona Técnica	Zonas Técnicas	Incandescente	75	1	1	-	Não	75,00
Z03	Ginásio	Clube Desportivo sem Piscinas	Fluorescente Tubular T8	58	2	21	Ferromagnético	Não	3 166,80
Z03	Pavilhão	Clube Desportivo sem Piscinas	Iodetos Metálicos	400	1	20	Ferromagnético	Não	10 400,00
Z02	I.S. Professores	Clube Desportivo sem Piscinas	Fluorescente Tubular T8	36	1	2	Ferromagnético	Não	93,60
			Incandescente	75	1	2	-	Não	150,00
Z06	Sala de Formação	Clube Desportivo sem Piscinas	Fluorescente Compacta	18	2	3	-	Não	108,00
			Fluorescente Tubular T8	36	1	5	Ferromagnético	Não	234,00

Tabela 60 – Levantamento do sistema de iluminação para as Portarias 1 e 2.

ILUMINAÇÃO INTERIOR PORTARIA 1									
Zona	Espaço	Tipologia	Tipo de Lâmpada	Potência [W]	Nº de Lâmpadas	Nº de Luminárias	Tipo de Balastro	Controlo da Iluminação	Potência Absorvida [W]
Z01	Portaria1	Escritórios	Fluorescente Compacta	8	1	2	-	Sim	16,40
			Fluorescente Compacta	8	1	1	-	Sim	9,20
ILUMINAÇÃO INTERIOR PORTARIA 2									
Z01	Portaria2	Armazém	Fluorescente Tubular T8	18	1	2	Ferromagnético	Não	46,80

Tabela 61 – Levantamento do sistema de iluminação para a iluminação exterior.

ILUMINAÇÃO EXTERIOR						
Tipo de Lâmpada	Potência [W]	Nº de Lâmpadas	Nº de Luminárias	Tipo de Balastro	Controlo da Iluminação	Potência Absorvida [W]
Iodetos Metálicos	100	1	22	Ferromagnético	Não	2 650,00
Fluorescente Compacta	14	1	24	-	Não	336,00
Fluorescente Compacta	8	1	1	-	Não	9,20
Fluorescente Tubular T8	58	2	1	Ferromagnético	Não	150,80

Tabela 62 – Parâmetros necessários ao cálculo da densidade de potência de iluminação de referência.

ILUMINAÇÃO DE REFERÊNCIA					
Bloco	Zona	Designação do espaço	DPI [(W/m²)/100lux]	Iluminância [Lux]	Densidade de Potência [W/m²]
Bloco A	Z01	I.S. Rapazes	3,8	200	7,6
	Z01	Lavandaria	3,4	300	10,2
	Z01	I.S. Raparigas	3,8	200	7,6
	Z02	Arquivo BE	3,4	100	3,4
	Z03	Sala de Pessoal	2,4	200	4,8
	Z03	Arrumo BE	3,4	100	3,4
	Z03	Hall Arquivo BE	3,8	100	3,8
	Z06	Corredor Oeste	3,8	100	3,8
	Z06	I.S Deficientes	3,8	200	7,6
	Z04	Cozinha	3,4	500	17,0
	Z11	Escadas acesso ao BE	3,8	150	5,7
	Z05	UEEA	2,4	300	7,2
	Z06	Hall de Entrada	3,8	100	3,8
	Z06	Escadas	3,8	150	5,7
	Z06	Arrumos Limpeza	3,4	100	3,4
	Z06	Corredor Este	3,8	100	3,8
	Z06	I.S. Funcionários	3,8	200	7,6
	Z07	Servidor	3,4	200	6,8
	Z08	Concelho Executivo	2,1	500	10,5
	Z09	CAF	2,1	500	10,5
	Z09	Antigo Bar	3,8	300	11,4
	Z09	I.S. CAF	3,8	200	7,6

ILUMINAÇÃO DE REFERÊNCIA					
Bloco	Zona	Designação do espaço	DPI [(W/m²)/100lux]	Iluminância [Lux]	Densidade de Potência [W/m²]
Bloco A	Z10	Arrumos	3,4	100	3,4
	Z10	Corredor Arrumos	3,8	100	3,8
	Z11	Biblioteca	2,4	500	12,0
	Z12	Bar	3,8	300	11,4
	Z13	Sala de aulas 1.0	2,4	300	7,2
	Z15	Sala dos Professores	2,4	200	4,8
	Z15	Sala de Trabalhos	2,4	300	7,2
	Z14	Corredor central	3,8	100	3,8
	Z14	Posto socorro	2,4	500	12,0
	Z16	Reprografia/Papelaria	2,4	500	12,0
	Z17	Salas de Aulas 1.1	2,4	300	7,2
	Z18	Corredor Lateral	3,8	100	3,8
	Z18	I.S.	3,8	200	7,6
	Z19	Sala de Aulas1.3	2,4	300	7,2
	Z20	Sala de Aulas 1.2	2,4	300	7,2
	Z14	Escadas Piso 1	3,8	150	5,7
Bloco C	Z03	Sala de Aula 0.1	2,4	300	7,2
	Z03	Sala de Aula 0.2	2,4	300	7,2
	Z04	Sala de Aula 0.3	2,4	300	7,2
	Z05	Arrumo 1	3,4	100	3,4
	Z04	Arrumo 2	3,4	100	3,4
	Z05	Arrumo Limpeza	3,4	100	3,4
	Z02	Elevador	3,4	100	3,4
	Z02	Sala das Maquinas	2,4	300	7,2

ILUMINAÇÃO DE REFERÊNCIA					
Bloco	Zona	Designação do espaço	DPI [(W/m²)/100lux]	Iluminância [Lux]	Densidade de Potência [W/m²]
Bloco C	Z05	I.S. Deficientes	3,8	200	7,6
	Z04	Sala de Ciências	2,4	500	12,0
	Z05	Corredor Norte	3,8	100	3,8
	Z01	Hall de entrada	3,8	100	3,8
	Z01	Arrumo das Ciências	3,4	100	3,4
	Z01	Arrumo 3	3,4	100	3,4
	Z01	Arrumo do EVT	3,4	100	3,4
	Z06	Sala de EVT	2,4	500	12,0
	Z08	Sala de Aulas 1.1	2,4	300	7,2
	Z08	Sala de Aulas 1.2	2,4	300	7,2
	Z08	Sala de Aulas 1.3	2,4	300	7,2
	Z07	Sala de Aulas 1.4	2,4	300	7,2
	Z07	Sala de Aulas 1.5	2,4	300	7,2
	Z01	Arrumo Piso 1	3,4	100	3,4
	Z09	Laboratório de Informática	2,4	300	7,2
	Z09	Gabinete 1	2,1	500	10,5
	Z09	Gabinete 2	2,1	500	10,5
	Z01	Hall do 1º Piso	3,8	100	3,8
	Z01	I.S. Rapazes	3,8	200	7,6
	Z01	I.S. Raparigas	3,8	200	7,6
	Z01	Escadas	3,8	150	5,7
Bloco D	Z01	Cozinha	3,4	500	17
	Z01	Arrumo de Alimentos	3,4	100	3,4
	Z01	I.S. Funcionárias	3,8	200	7,6

ILUMINAÇÃO DE REFERÊNCIA					
Bloco	Zona	Designação do espaço	DPI [(W/m²)/100lux]	Iluminância [Lux]	Densidade de Potência [W/m²]
Bloco D	Z02	Arrumo Refeitório	3,4	100	3,4
	Z03	Zona Técnica - Caldeiras	3,4	200	6,8
	Z04	Arrumo	3,4	100	3,4
	Z04	I.S. Raparigas	3,8	200	7,6
	Z04	I.S. Rapazes	3,8	200	7,6
	Z02	Refeitório	3,8	200	7,6
Pavilhão	Z01	Receção	2,4	300	7,2
	Z02	Gabinete	2,4	500	12,0
	Z01	I.S. Funcionários	3,8	200	7,6
	Z04	Balneário Feminino	3,8	200	7,6
	Z04	Balneário Masculino	3,8	200	7,6
	Z01	Circulação	3,8	100	3,8
	Z01	Arrumo	3,4	100	3,4
	Z01	Arrumo Material	3,4	100	3,4
	Z05	Zona Técnica	3,4	200	6,8
	Z03	Ginásio	3,4	300	10,2
	Z03	Pavilhão	3,4	300	10,2
	Z02	I.S. Professores	3,8	200	7,6
	Z06	Sala de Formação	2,4	300	7,2
	-	Bancada	3,4	300	10,2
Portaria 1	Z01	Portaria 1	2,4	300	7,2
Portaria 2	Z01	Portaria 2	2,4	300	7,2

APÊNDICE V – EQUIPAMENTOS INSTALADOS

De modo a completar e detalhar a informação apresentada no Capítulo 4, no que se refere aos Sistemas Consumidores de Energia, são apresentados os equipamentos instalados no Complexo Escolar, decorrentes do levantamento efetuado. Para isso, apresenta-se esse levantamento na Tabela 63 para o Bloco A, na Tabela 64 para o Bloco C, na Tabela 65 para o Bloco D, na Tabela 66 para o Pavilhão e na Tabela 67 para a Portaria 1.

Tabela 63 – Levantamento dos equipamentos do Bloco A.

EQUIPAMENTO INSTALADOS BLOCO A							
Zona	Espaço	Descrição	Marca	Modelo	Quantidade	Potência Instalada [W]	Notas
Z01	Lavandaria	Máquina de lavar a roupa	Samsung	WF0600NCW	1	2 200	Usado 1-2 x semana
		Máquina de secar a roupa	Zanussi	-	1	2 000	Usado 1-2 x semana
Z03	Sala de Pessoal	Televisão	-	-	1	50	Não é utilizado
		Rádio	-	-	1	15	-
		Termo convetor	Ignis	C 2000	1	2 000	-
		Frigorifico Pequeno	Beko	L54135/b180	1	75	-
		Micro-ondas	Teka	MW 20 BF WHITE VR02	1	1 250	-
		Termo convetor	Moulinex	V03	1	1 500	-
Z04	Cozinha	Micro-ondas	-	-	1	2 000	Usado durante os lanches
		Fogão /Forno Elétrico	Meireles	E611 X	1	8 950	Não é utilizado
		UPS	-	-	1	150	-
		Torradeira	-	-	1	850	Usado durante os lanches
		Exaustor de Fumo	S&P	CK-50 2V	1	115	Não é utilizado
Z05	UEEA	Aquecedor Elétrico	Norteli	DL9	1	2 000	-
		Videoprojector	-	-	1	300	-
		Aparelhagem	-	-	1	100	-
		Impressora	HP	HP PSC 1410	1	150	-
		Monitor	-	-	3	450	-
		Computador Torre	Asus	-	3	450	-
Z06	Hall de Entrada	Kiosque astuto (Computador)	-	-	1	250	-
Z07	Servidor	Servidor	-	-	1	750	Consumo Medido
		Monitor	Studioworks	studioworks 7006	1	-	
		Monitor	Asus	VW193	1	-	
		Monitor	Fujitsu Siemens	-	1	-	
		Computador Torre	Asus	R400	2	-	

EQUIPAMENTO INSTALADOS BLOCO A

Zona	Espaço	Descrição	Marca	Modelo	Quantidade	Potência Instalada [W]	Notas
		Computador Torre	HP	HP Compaq 6000 Pro Small Form Factor	1	-	
		Ventoinha Portátil	GS	CL-1203	1	38	-
Z08	Conselho Executivo	Monitor	HP	HP 2011x	2	300	-
		Computador Torre	HP	HP Compaq 6200 Pro Microtower	1	75	-
		Impressora Pequena	HP	HP deskjet 3650	1	50	-
		Trituradora de Papel	HSM	HSM 102.2	1	1 500	-
		Aquecedor elétrico	Honeywell	HZ - 330715E	1	75	-
		Impressora Pequena	HP	BOISB - 0801 - 00	1	8	-
		Rádio	Sharp	QT - CD210H (S)	1		-
Z09	CAF	Computador torre	Fujitsu Siemens Computers	SCENIC P300, i845GV	4	600	-
		Monitor	Fujitsu Siemens Computers	B772 -1	2	4 000	-
		Aquecedor Elétrico	Taurus	Dubai 2000	1	90	-
		Televisão	Mitsubishi	CT - 2525EPM	1	20	-
		Rádio	Sony	CFD - 9	1	25	-
		Leitor de VHS	Grundig	GV 5000	1		-
Z09	Antigo Bar	Frigorífico	-	-	1	100	Material não usado
		Máquina de Lavar Louça	Dühr Internatoinal	DERBY CF	1	2 080	Material não usado
		Máquina de Café	Astoria	-	1	3 000	Material não usado
Z10	Arrumos	Computador Torre + Monitor	Dell	-	1	150	Material não usado
Z11	Biblioteca	Computador Torre	Dell	-	9	1 350	-
		Monitor	-	-	1	95	-
		Televisão	Samsung	CW 25C33N	1	190	-
		Projektor	Sony	VPL - CS3	1		-

EQUIPAMENTO INSTALADOS BLOCO A							
Zona	Espaço	Descrição	Marca	Modelo	Quantidade	Potência Instalada [W]	Notas
		DVD	Samsung	DVD - HR38	1	50	-
		Portátil	Dell	Latitude D520	1	80	-
		Aquecedor Elétrico	Norteli	DL7	3	4 500	-
		Impressora	HP	HP LaserJet 1010 (Q2460A)	1	75	-
		Impressora	HP	HP PSC 2355 all-in-one	1	75	-
		Videoprojector	EPSON	AMP-1715	1	250	-
		Ventoinha de teto	Frisk	WY56TU	1	70	-
		Aparelhagem	Sony	HCD - RG22	1	105	-
Z12	Bar	Vitrine	GAYC	VARC8/2	1	3 000	-
		Arca Congeladora	Olitrem	MRK 15 S	1	300	-
		Exaustor de Fumos	S&P	CK-50	1	90	-
		Ventoinha Teto	Frisk	WY56TU	1	70	-
		Mata Insetos Elétrico	-	-	1	60	-
		Computador + Torre	-	-	1	150	-
		Micro-ondas	Teka	MW 200 G White	1	1 050	-
		Arca Frigorífica Gelados	-	-	1	150	Ligado apenas no verão
		Frigorífico	Superser	A70	1	100	-
		Balança Elétrica	-	NP-30D	-	-	Pilhas 9V
		Moinho do Café	Compak	K-5 Antracite	1	245	-
		Máquina de Café	Brasília	Exclusive P 2GR.	1	3 000	-
		Tostadeira Elétrica	Mundotel	V2PS	1	3 100	-
		Televisão	Grundig	Davio 51 T51 - 4201 TOP	1	50	-

EQUIPAMENTO INSTALADOS BLOCO A							
Zona	Espaço	Descrição	Marca	Modelo	Quantidade	Potência Instalada [W]	Notas
		Maquina de Lavar Loiça	Dihr International	DERBY CF	1	2 080	-
Z13	Sala de aulas 1.0	Portátil	Dell	Latitude D520	1	80	-
		Videoprojector	EPSON	AMP-1715	1	250	-
Z15	Sala de Professores	Chaleira Elétrica	Tristar	WK - 1338	1	2 000	-
		Maquina de Café	Pingo Doce	Café Expresso 1289FL	1	1 400	Desligada
		Videoprojector	EPSON	AMP-1715	1	300	-
		Ventoinha Móvel	HJM	FD-40E (VS3-40)	1	50	-
		Rádio	Aiwa	CX - LEM20K	1	20	-
		Leitor de DVDs	Inovix	IDP - 1500	1	50	-
		Televisão	Samsung	CW 25C33N	1	95	-
		Monitor	-	-	5	750	-
		Computador Torre	-	-			
Z15	Sala de Trabalhos	Impressora Pequena	HP	DeskJet (Hewlett Packard) 1125C	1	75	Não utilizada
		Impressora Pequena	HP	Deskjet 3650	1	75	-
		Computador Torre	Dell	DCNE	2	300	Um dos monitores não funciona
		Monitor	Dell	-			
Z16	Reprografia/Papelaria	Computador Torre	Dell	DCNE	4	600	-
		Monitor	HP	-			
		Rádio	-	5.5 black &white television with am/fm radio	1	10	-
		Impressora Pequena	HP	-	1	75	-
		Impressora	Ricoh	MP 4000 / Aficio MP 4000	1	1 500	-
Z17		Videoprojector	EPSON	AMP-1715	1	300	-

EQUIPAMENTO INSTALADOS BLOCO A							
Zona	Espaço	Descrição	Marca	Modelo	Quantidade	Potência Instalada [W]	Notas
	Sala de Aulas 1.1	Computador Torre	Dell	DCNE	1	150	-
		Monitor	Brimax	M1720A	1	1 500	-
		Aquecedor Elétrico	Norteli	DL7	1	1 500	-
Z19	Sala de Aulas 1.3	Televisão	LG	NR CB-14F84SX	1	65	-
		Leitor de DVDs	Mitsai	MT007	1	50	-
		Leitor de VHS	LG	LV2793	1	12	-
		Aquecedor Elétrico	Taurus	Dubai 2000	1	2 000	-
		Videoprojector	EPSON	AMP-1715	1	300	-
		Portátil	Dell	Latitude D520	1	80	-
Z20	Sala de Aulas 1.2	Aquecedor Elétrico	Taurus	Dubai 2000	1	2 000	-
		Videoprojector	Benq	-	1	300	-
		Computador Torre	Dell	DCNE	1	150	-
		Monitor	HP	HP Compaq LE1711	1	24	-
		Ventoinha Teto	Frisk	WY56TU	1	70	-

Tabela 64 – Levantamento dos equipamentos do Bloco C.

EQUIPAMENTO INSTALADOS BLOCO C							
Zona	Espaço	Descrição	Marca	Modelo	Quantidade	Potência Instalada [W]	Notas
Z03	Sala de Aula 0.1	Videoprojector	EPSON	EPM - 400W	1	300	-
		Impressora pequena	HP	HP psc 1315 all-in-one	1	100	-
		Termo convetor	-	-	1	1500	-

EQUIPAMENTO INSTALADOS BLOCO C							
Zona	Espaço	Descrição	Marca	Modelo	Quantidade	Potência Instalada [W]	Notas
		Portátil	Dell	Latitude D520	1	80	-
Z03	Sala de Aula 0.2	Ventilador de Extração na Janela	S&P	HCM-225N	1	75	-
		Aquecedor Elétrico	Taurus	Dubai 2000	1	2 000	-
		Micro-ondas	Moulinex	Y53	1	1 200	-
		Rádio	PHILIPS	AZ1000/00	1	15	-
		Portátil	Dell	Latitude D520	1	80	-
		Videoprojector	Benq	-	1	300	-
Z04	Sala de Aula 0.3	Ventilador de Extração na Janela	S&P	HCM-225N	1	75	-
		Videoprojector	Benq	-	1	300	-
		Computador Torre	-	-	1	150	-
		Monitor	Samtron	-	-	-	-
		Termo convetor	PHILIPS	HD 3272/A	1	2 000	-
Z02	Sala das Maquinas	Motor de Elevador	GMV	MI - 100/17	1	12 500	Não utilizado
Z04	Sala de Ciências	Computador Torre	HP	HP Compaq dc7800p Small Form Factor	1	150	-
		Monitor	HP	HP Compaq LE1711	-	-	-
		Videoprojector	EPSON	EPM - 400W	1	300	-
Z01	Hall de entrada	Kiosque astuto (Computador Torre)	-	-	1	250	-
		Portátil	Dell	Latitude D520	1	77,5	-
		Computador Torre	-	-	1	150	-
		Monitor	-	-	-	-	-
		Aquecedor Elétrico	Norteli	DL9	1	2 000	-

EQUIPAMENTO INSTALADOS BLOCO C							
Zona	Espaço	Descrição	Marca	Modelo	Quantidade	Potência Instalada [W]	Notas
		Videoprojector	EPSON	EPM - 400W	1	300	-
Z01	Arrumo das Ciências	Servidor	-	-	1	375	-
Z06	Sala de EVT	Computador Torre	HP	HP Compaq dc7800p Small Form Factor	1	150	-
		Monitor	HP	HP Compaq LE1711			
		Videoprojector	EPSON	EPM - 400W	1	300	-
		Compressor Portátil	Jun - Air	6.-10	1	350	-
		Forno Elétrico	Barracha	E1	1	1 500	-
		Máquina de Vácuo	C.R.Clarke & Co	1210	1	1 240	-
		Maquina de Furos	Record Power	-	1	250	-
		Esmeril	Creusen	DS 7150 T	1	350	-
		Furadora	AYERBE	AY - 13TS	1	550	-
Z08	Sala de Aulas 1.1	Computador Torre	HP	HP Compaq dc7800p Small Form Factor	1	150	-
		Monitor	HP	HP Compaq LE1711			
		Piano Elétrico	Yamaha	-	1	25	-
		Videoprojector	EPSON	EPM - 400W	1	300	-
		Rádio	Sony	HCD - RG22	1	105	-
Z08	Sala de Aulas 1.2	Computador Torre	HP	HP Compaq dc7800p Small Form Factor	1	150	-
		Monitor	HP	HP Compaq LE1711			
		Videoprojector	EPSON	EPM - 400W	1	300	-
Z08	Sala de Aulas 1.3	Computador Torre	HP	HP Compaq dc7800p Small Form Factor	1	150	-
		Monitor	HP	HP Compaq LE1711			

EQUIPAMENTO INSTALADOS BLOCO C							
Zona	Espaço	Descrição	Marca	Modelo	Quantidade	Potência Instalada [W]	Notas
		Videoprojector	EPSON	EMP - X3	1	300	-
Z07	Sala de Aulas 1.4	Videoprojector	EPSON	AMP-1715	1	300	-
		Computador Torre	HP	HP Compaq dc7800p Small Form Factor	1	150	-
		Monitor	HP	HP Compaq LE1711			
Z07	Sala de Aulas 1.5	Videoprojector	EPSON	AMP-1715	1	300	-
		Computador Torre	HP	HP Compaq dc7800p Small Form Factor	1	150	-
		Monitor	HP	HP Compaq LE1711			
Z09	Laboratório de Informática	Computador Torre	HP	HP Compaq dc7800p Small Form Factor	12	1 800	-
		Monitor	HP	HP Compaq LE1711			
		Videoprojector	EPSON	AMP-1715	1	300	-
Z09	Gabinete 1	Computador Torre	Dell	-	1	150	-
		Monitor	Dell	-			
		Videoprojector	EPSON	EPM - 400W	1	300	-
Z09	Gabinete 2	Computador Torre	HP	HP Compaq dc7800p Small Form Factor	1	150	-
		Monitor	HP	HP Compaq LE1711			-
		Videoprojector	EPSON	AMP-1715	1	300	-

Tabela 65 – Levantamento dos equipamentos do Bloco D.

EQUIPAMENTO INSTALADOS BLOCO D							
Zona	Espaço	Descrição	Marca	Modelo	Quantidade	Potência Instalada Elétrica [W]	Potência Instalada Gás Propano [W]
Z01	Cozinha	Descascador de batatas	Sammic	PP-12	1	550	-
		Grelhador	Interlinha	-	1	-	-
		Forno Elétrico	HIOS	HP10E	1	-	-
		Frigideira	-	-	1	-	-
		Marmita Sopa	-	-	1	-	-
		Computador	-	-	1	250	-
		Monitor	Dell	-			
		Banhos Maria	-	-	2	-	-
		Máquina de Lavar a Loiça	-	-	1	-	-
		Ventilador de Extração	-	-	1	-	-
		Fogão + Forno Grande	Meireles	-	2	-	-
		Fogão Pequeno (Trempe)	Meireles	-	1	-	-
		Ventilador de Extração	-	-	1	-	-
		Frigorífico	-	-	1	100	-
		Marmita	Magnus	BGI M980	1	50	21 000
Z01	Arrumo de Alimentos	Frigorífico	-	-	1	100	-
		Arca Congeladora	-	-	1	100	-
Z02	Refeitório	Bebedouro Elétrico	Water Logic	-	1	114	-

Tabela 66 – Levantamento dos equipamentos do Pavilhão.

EQUIPAMENTO INSTALADOS PAVILHÃO							
Zona	Espaço	Descrição	Marca	Modelo	Quantidade	Potência Instalada [W]	Notas
Z01	Recepção	Aquecedor Elétrico	Norteli	DL9	1	2 000	-
		Rádio	Sony	CFD - S01	1	11	-
Z02	Gabinete	Frigorífico	Frilux	-	1	100	-
		Monitor	Fujitsu Siemens Computers	B772-1	1	150	-
		Computador	-	-	-	-	-
		Termo convetor	Kunft	FH120	1	1900	-
Z04	Balneário Feminino	Secador de Cabelo	-	-	1	1 200	-
Z04	Balneário Masculino	Secador de Cabelo	-	-	1	1 200	-
Z03	Ginásio	Radio/Aparelhagem	Sony	HCD - RG22	1	105	-
		Desumidificador Portátil	S&P	DHUM - 12N	1	288	-
Z03	Pavilhão	Desumidificador Portátil	MACORLUX	-	1	300	-

Tabela 67 – Levantamento dos equipamentos da Portaria 1.

EQUIPAMENTO INSTALADOS PORTARIA 1							
Zona	Espaço	Descrição	Marca	Modelo	Quantidade	Potência Instalada [W]	Notas
Z01	Portaria	Computador Torre	Saphira By NOX xtreme	-	1	150	-
		Monitor	HP	HP Compaq LE1711			
		Aquecedor Elétrico	-	8/6.9	1	900	-

APÊNDICE VI – SISTEMAS DE AVAC E CAUDAIS

MÍNIMOS DE AR NOVO

Com o intuito de apresentar as características técnicas dos sistemas de AVAC instalados no Complexo Escolar, são apresentadas a Tabela 68 até à Tabela 74.

No Bloco A esta instalado um sistema de ar condicionado para arrefecimento do espaço do servidor, e um cilindro elétrico que suprime as necessidades da preparação de AQS do Bar.

Tabela 68 – Características técnicas da unidade de ar condicionado do Bloco A.

AR CONDICIONADO	
Marca	Zantia
Modelo	New York 18
Capacidade de aquecimento [Btu/h - kW]	18 000 – 5,28
Capacidade de arrefecimento [Btu/h - kW]	17 000 – 4,98
SCOP	3,8
SERR	6,5
Potência máxima consumida [W]	2 550
Corrente aquecimento [A]	6,2
Corrente arrefecimento [A]	7,5
Potência aquecimento [W]	1 420
Potência arrefecimento [W]	1 740
220-240V - 50Hz	

Tabela 69 – Características técnicas do cilindro elétrico do bar do Bloco A.

CILINDRO ELÉTRICO	
Marca	Arierom
Modelo	VA 1N50
Potência Elétrica [kW]	2,4
Capacidade [L]	50
230V - 50Hz	

No Bloco D estão instaladas duas caldeiras com as mesmas características, um sistema de bombagem e um esquentador a gás propano.

Tabela 70 – Características técnicas das caldeiras a gás propano do Bloco D.

CALDEIRAS	
Marca	Thermital
Modelo	THE/Q 255
Potência Útil (máx / min) [kW]	234.3 / 201.4
Potência calorífica (máx / min) [kW]	255 / 218
Pressão de serviço máxima [bar]	5
Capacidade de água[L]	187
T_{máx} H₂O [°C]	95
Rendimento	0,919
Manutenção	Equiteclis
Temperatura de funcionamento [°C]	65
Ano	2002

Tabela 71 – Características técnicas do sistema de bombagem do aquecimento central.

BOMBAS CIRCULADORAS						
Número	1	2	3	4	5	6
Marca	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos	Grundfos
Modelo	UPS65-120/F	UPS32-80/180	UPS32-80/180	UPS50-180/F	UPS32-120/F	UP20-15N/150
Posição	3	3	1	3	3	-
Potência [W]	1 150	245	145	1 000	400	65
I_{corrente} [A]	2,15	1,05	0,65	2,00	0,78	0,28
Q_{máx} [m³/h]	45	12,3	12,3	31	13	2,2
Notas	Trifásica	Monofásica	Monofásica	Trifásica	Trifásica	Circuito descontinuado

Tabela 72 – Características técnicas do esquentador de gás propano do Bloco D.

ESQUENTADOR	
Marca	Vulcano
Modelo	WRD18 - 2 B31 S
Potência Calorífica nominal [kW]	34,5
Potência Útil nominal [kW]	30,5
Rendimento	0,88

No Pavilhão estão instaladas duas caldeiras de preparação de AQS a gás propano e um termoacumulador de água.

Tabela 73 – Características técnicas das caldeiras de preparação de AQS do Pavilhão.

CALDEIRAS DE PREPARAÇÃO DE AQS	
Marca	Baxi
Modelo	26 iPV
Tipo	B11BS
Potência Calorífica Nominal [kW]	33
Potência Útil Nominal [kW]	29,7
Pressão máxima de água [bar]	3
Temperatura de aquecimento [°C]	< 95
Rendimento	0,90
Notas	Apenas uma funciona

Tabela 74 – Características técnicas do termoacumulador de água do Pavilhão.

TERMOACUMULADOR DE ÁGUA		
Marca		ACV
Modelo		Jumbo 800
Capacidade de água [L]	Aquecimento Central	125
	AQS	675
Ano		2002

No que diz respeito aos caudais mínimos de ar novo foi necessária a determinação dos mesmos, com o recurso à folha de cálculo fornecida pelo LNEC – o “Qventila”. Para os vários espaços do Complexo Escolar, são apresentados na Tabela 75, os seus valores obtidos mediante o método prescritivo, para o modelo real, previsto e de referência.

Tabela 75 – Caudais mínimos de ar novo obtidos pela folha de cálculo, o Qventila, para os vários modelos de simulação [43].

CAUDAL MÍNIMO DE AR NOVO					
Bloco	Zona	Designação do espaço	Modelo [m³/h]		
			Real	Previsto	Referência
Bloco A	Z01	I.S. Rapazes	Não tem	Não tem	Não tem
	Z01	Lavandaria	Não tem	Não tem	Não tem
	Z01	I.S. Raparigas	Não tem	Não tem	Não tem
	Z02	Arquivo BE	Não tem	Não tem	Não tem
	Z03	Sala de Pessoal	Não tem	96,00	120,00
	Z03	Arrumo BE	Não tem	Não tem	Não tem

CAUDAL MÍNIMO DE AR NOVO					
Bloco	Zona	Designação do espaço	Modelo [m³/h]		
			Real	Previsto	Referência
Bloco A	Z03	Hall Arquivo BE	Não tem	Não tem	Não tem
	Z06	Corredor Oeste	Não tem	Não tem	Não tem
	Z06	I.S Deficientes	Não tem	Não tem	Não tem
	Z04	Cozinha	Não tem	168,00	210,00
	Z11	Escadas acesso ao BE	Não tem	Não tem	Não tem
	Z05	UEEA	Não tem	192,00	240,00
	Z06	Hall de Entrada	Não tem	Não tem	Não tem
	Z06	Escadas	Não tem	Não tem	Não tem
	Z06	Arrumos Limpeza	Não tem	Não tem	Não tem
	Z06	Corredor Este	Não tem	Não tem	Não tem
	Z06	I.S. Funcionários	Não tem	Não tem	Não tem
	Z07	Servidor	Não tem	Não tem	Não tem
	Z08	Concelho Executivo	Não tem	91,00	113,00
	Z09	CAF	Não tem	528,00	660,00
	Z09	Antigo Bar	Não tem	22,00	27,00
	Z09	I.S. CAF	Não tem	Não tem	Não tem
	Z10	Arrumos	Não tem	Não tem	Não tem
	Z10	Corredor Arrumos	Não tem	Não tem	Não tem
	Z11	Biblioteca	Não tem	640,00	800,00
	Z12	Bar	Não tem	360,00	450,00
	Z13	Sala de aulas 1.0	Não tem	504,00	630,00
	Z15	Sala dos Professores	Não tem	120,00	150,00
	Z15	Sala de Trabalhos	Não tem	54,00	67,00
	Z14	Corredor central	Não tem	Não tem	Não tem
	Z14	Posto socorro	Não tem	31,00	39,00
	Z16	Reprografia/Papelaria	Não tem	189,00	236,00
	Z17	Salas de Aulas 1.1	Não tem	341,00	427,00
	Z18	Corredor Lateral	Não tem	Não tem	Não tem
	Z18	I.S.	Não tem	Não tem	Não tem
	Z19	Sala de Aulas1.3	Não tem	504,00	630,00
	Z20	Sala de Aulas 1.2	Não tem	456,00	570,00
	Z14	Escadas Piso 1	Não tem	Não tem	Não tem
Bloco C	Z03	Sala de Aula 0.1	Não tem	504,00	630,00
	Z03	Sala de Aula 0.2	Não tem	504,00	630,00
	Z04	Sala de Aula 0.3	Não tem	504,00	630,00

CAUDAL MÍNIMO DE AR NOVO					
Bloco	Zona	Designação do espaço	Modelo [m³/h]		
			Real	Previsto	Referência
Bloco C	Z05	Arrumo 1	Não tem	Não tem	Não tem
	Z04	Arrumo 2	Não tem	Não tem	Não tem
	Z05	Arrumo Limpeza	Não tem	Não tem	Não tem
	Z02	Elevador	Não tem	Não tem	Não tem
	Z02	Sala das Maquinas	Não tem	Não tem	Não tem
	Z05	I.S. Deficientes	Não tem	Não tem	Não tem
	Z04	Sala de Ciências	Não tem	735,00	919,00
	Z05	Corredor Norte	Não tem	Não tem	Não tem
	Z01	Hall de entrada	Não tem	Não tem	Não tem
	Z01	Arrumo das Ciências	Não tem	Não tem	Não tem
	Z01	Arrumo 3	Não tem	Não tem	Não tem
	Z01	Arrumo do EVT	Não tem	Não tem	Não tem
	Z06	Sala de EVT	Não tem	735,00	919,00
	Z08	Sala de Aulas 1.1	Não tem	504,00	630,00
	Z08	Sala de Aulas 1.2	Não tem	504,00	630,00
	Z08	Sala de Aulas 1.3	Não tem	504,00	630,00
	Z07	Sala de Aulas 1.4	Não tem	504,00	630,00
	Z07	Sala de Aulas 1.5	Não tem	504,00	630,00
	Z01	Arrumo Piso 1	Não tem	Não tem	Não tem
	Z09	Laboratório de Informática	Não tem	504,00	630,00
	Z09	Gabinete 1	Não tem	504,00	630,00
	Z09	Gabinete 2	Não tem	110,00	137,00
	Z01	Hall do 1º Piso	Não tem	Não tem	Não tem
	Z01	I.S. Rapazes	Não tem	Não tem	Não tem
	Z01	I.S. Raparigas	Não tem	Não tem	Não tem
	Z01	Escadas	Não tem	Não tem	Não tem
Bloco D	Z01	Cozinha	Não tem	249,00	311,00
	Z01	Arrumo de Alimentos	Não tem	Não tem	Não tem
	Z01	I.S. Funcionárias	Não tem	Não tem	Não tem
	Z02	Arrumo Refeitório	Não tem	Não tem	Não tem
	Z03	Zona Técnica - Caldeiras	Não tem	Não tem	Não tem
	Z04	Arrumo	Não tem	Não tem	Não tem
	Z04	I.S. Raparigas	Não tem	Não tem	Não tem
	Z04	I.S. Rapazes	Não tem	Não tem	Não tem
	Z02	Refeitório	Não tem	4 920,00	6 150,00

CAUDAL MÍNIMO DE AR NOVO					
Bloco	Zona	Designação do espaço	Modelo [m³/h]		
			Real	Previsto	Referência
Pavilhão	Z01	Receção	Não tem	103,00	129,00
	Z02	Gabinete	Não tem	105,00	131,00
	Z01	I.S. Funcionários	Não tem	Não tem	Não tem
	Z04	Balneário Feminino	Não tem	Não tem	Não tem
	Z04	Balneário Masculino	Não tem	Não tem	Não tem
	Z01	Circulação	Não tem	Não tem	Não tem
	Z01	Arrumo	Não tem	Não tem	Não tem
	Z01	Arrumo Material	Não tem	Não tem	Não tem
	Z05	Zona Técnica	Não tem	Não tem	Não tem
	Z03	Ginásio	Não tem	2 058,00	2 573,00
	Z03	Pavilhão	Não tem	2 058,00	2 573,00
	Z02	I.S. Professores	Não tem	Não tem	Não tem
	Z06	Sala de Formação	Não tem	240,00	300,00
	-	Bancada	Não tem	128,00	160,00
Portaria 1	Z01	Portaria 1	Não tem	24,00	30,00
Portaria 2	Z01	Portaria 2	Não tem	Não tem	Não tem

Na Tabela 76 são apresentados os valores introduzidos nos vários modelos de simulação para a Climatização e a Ventilação. No caso do modelo real, este não incorpora qualquer tipo de sistema de ventilação, e para o modelo previsto e de referência, estes apresentam as disposições para a climatização e ventilação da legislação em vigor, apresentadas no Capítulo 3.

Tabela 76 – Parâmetros introduzidos nos modelos de simulação para a climatização e ventilação, por zona térmica.

CLIMATIZAÇÃO E VENTILAÇÃO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO											
Bloco	Zona	Designação do espaço	Modelo Real		Modelo Previsto			Modelo Referência			
			Climatização		Climatização		Ventilação	Climatização		Ventilação	
			COP ou η ; Temp.	EER	COP ou η ; Temp.	EER	Q_{arquivo} [RPH]	COP ou η ; Temp.	EER	Q_{arquivo} [RPH]	Densidade de Potência [W/m ²]
Bloco A	Z01	Instalações Sanitárias	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	-	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	-	-
	Z02	Arquivo BE	-	-	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	-	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	-	-
	Z03	Sala de Pessoal	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	1,06	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	1,32	1,4062
	Z04	Cozinha	-	-	-	-	3,75	-	-	4,68	5,2838
	Z05	UEEA	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	2,08	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	2,60	2,8297
	Z06	Corredor	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	-	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	-	-
	Z07	Servidor	3,8; T=20°C	6,5; T=23°C	3,8; T=20°C	6,5; T=25°C	-	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	-	-
	Z08	Concelho Executivo	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	0,96	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	1,19	1,2962
	Z09	CAF	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	1,94	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	2,42	2,6073
	Z10	Arrumo	-	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	-	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	-	-
	Z11	Biblioteca	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	1,19	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	1,49	2,3807
	Z12	Bar	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	2,80	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	3,50	3,7114
	Z13	Sala de aulas 1.0	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	3,85	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	4,81	5,0931

CLIMATIZAÇÃO E VENTILAÇÃO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO

Bloco	Zona	Designação do espaço	Modelo Real		Modelo Previsto			Modelo Referência			
			Climatização		Climatização		Ventilação	Climatização		Ventilação	
			COP ou η ; Temp.	EER	COP ou η ; Temp.	EER	Q_{arquivo} [RPH]	COP ou η ; Temp.	EER	Q_{arquivo} [RPH]	Densidade de Potência [W/m²]
Bloco A	Z14	Corredor Central	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	0,15	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	0,18	0,2755
	Z15	Sala Professores	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	1,19	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	1,48	1,5704
	Z16	Reprografia/Papelaria	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	1,46	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	1,83	1,9354
	Z17	Salas de Aulas 1.1	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	2,60	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	3,26	3,4504
	Z18	Corredor Lateral	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	-	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	-	-
	Z19	Sala de Aulas 1.3	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	3,31	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	4,13	4,1344
	Z20	Sala de Aulas 1.2	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	2,36	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	2,96	3,0272
Bloco C	Z01	Hall	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	-	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	-	-
	Z02	Elevador	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Z03	Salas EB1	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	3,08	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	3,85	4,5417
	Z04	Salas Ciências	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	3,12	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	3,91	4,6100
	Z05	Corredor	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	-	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	-	-
	Z06	Sala EVT	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	2,24	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	2,80	3,3012
	Z07	Salas 1º Piso	0,50; T=23°C	-	0,50; T=20°C	2,9; T=25°C	3,12	0,89; T=20°C	2,9; T=25°C	3,90	4,5788

APÊNDICE VII – DENSIDADE DE OCUPAÇÃO

Da Tabela 77 à Tabela 81 são apresentados o número de ocupantes máximo de cada zona térmica do Complexo Escolar e os valores de densidade de ocupação, de modo a serem introduzidos no programa de simulação.

Tabela 77 – Número e densidade de ocupação do Bloco A.

OCUPAÇÃO BLOCO A			
Zona	Designação do espaço	Número de Ocupantes	Densidade [Pessoas/m ²]
Z01	Instalações Sanitárias	0	0,0000
Z02	Arquivo BE	0	0,0000
Z03	Sala de Pessoal	4	0,1350
Z04	Cozinha	7	0,5072
Z05	UEEA	8	0,2716
Z06	Corredor	0	0,0000
Z07	Servidor	0	0,0000
Z08	Concelho Executivo	2	0,0661
Z09	CAF	22	0,2405
Z10	Arrumo	0	0,0000
Z11	Biblioteca	32	0,2743
Z12	Bar	15	0,3564
Z13	Sala de aulas 1.0	21	0,4889
Z14	Corredor Central	2	0,0407
Z15	Sala Professores	5	0,1042
Z16	Reprografia/Papelaria	8	0,1889
Z17	Salas de Aulas 1.1	22	0,5120
Z18	Corredor Lateral	0	0,0000
Z19	Sala de Aulas 1.3	21	0,3969
Z20	Sala de Aulas 1.2	19	0,2906

Tabela 78 – Número e densidade de ocupação do Bloco C.

OCUPAÇÃO BLOCO C			
Zona	Designação do espaço	Número de Ocupantes	Densidade [Pessoas/m²]
Z01	Hall	1	0,0071
Z02	Elevador	0	0,0000
Z03	SalasEB1	42	0,4360
Z04	Salas de Ciências	42	0,3600
Z05	Corredor	0	0,0000
Z06	Sala EVT	21	0,2173
Z07	Salas 1Piso	42	0,4396
Z08	Sala música	63	0,4235
Z09	Gabinete	46	0,4662

Tabela 79 – Número e densidade de ocupação do Bloco D.

OCUPAÇÃO BLOCO D			
Zona	Designação do espaço	Número de Ocupantes	Densidade [Pessoas/m²]
Z01	Cozinha	5	0,0454
Z02	Refeitório	205	1,1305
Z03	Caldeira	0	0,0000
Z04	I.S. refeitório	0	0,0000

Tabela 80 – Número e densidade de ocupação do Pavilhão.

OCUPAÇÃO PAVILHÃO			
Zona	Designação do espaço	Número de Ocupantes	Densidade [Pessoas/m²]
Z01	Corredor	2	0,0155
Z02	Sala professores	1	0,0289
Z03	Pavilhão	42	0,0531
Z04	Balneários	40	0,2962
Z05	Zonas Técnicas	0	0,0000
Z06	Sala de Formação	10	0,3724

Tabela 81 – Número e densidade de ocupação da Portaria 1 e 2.

OCUPAÇÃO PORTARIA 1			
Zona	Designação do espaço	Número de Ocupantes	Densidade [Pessoas/m ²]
Z01	Portaria 1	1	0,2392
OCUPAÇÃO PORTARIA 2			
Z01	Portaria 2	0	0,0000

APÊNDICE VIII – ZONAMENTO TÉRMICO

Com o apoio dos desenhos 2D dos vários blocos do Complexo Escolar, é apresentado o zonamento térmico desenvolvido. Para isso, são apresentadas da Figura 53 à Figura 57 os desenhos que ilustram o zonamento térmico. Os espaços constituintes das zonas térmicas encontram-se descritos com maior detalhe desde a Tabela 50 até à Tabela 54 do Apêndice I.

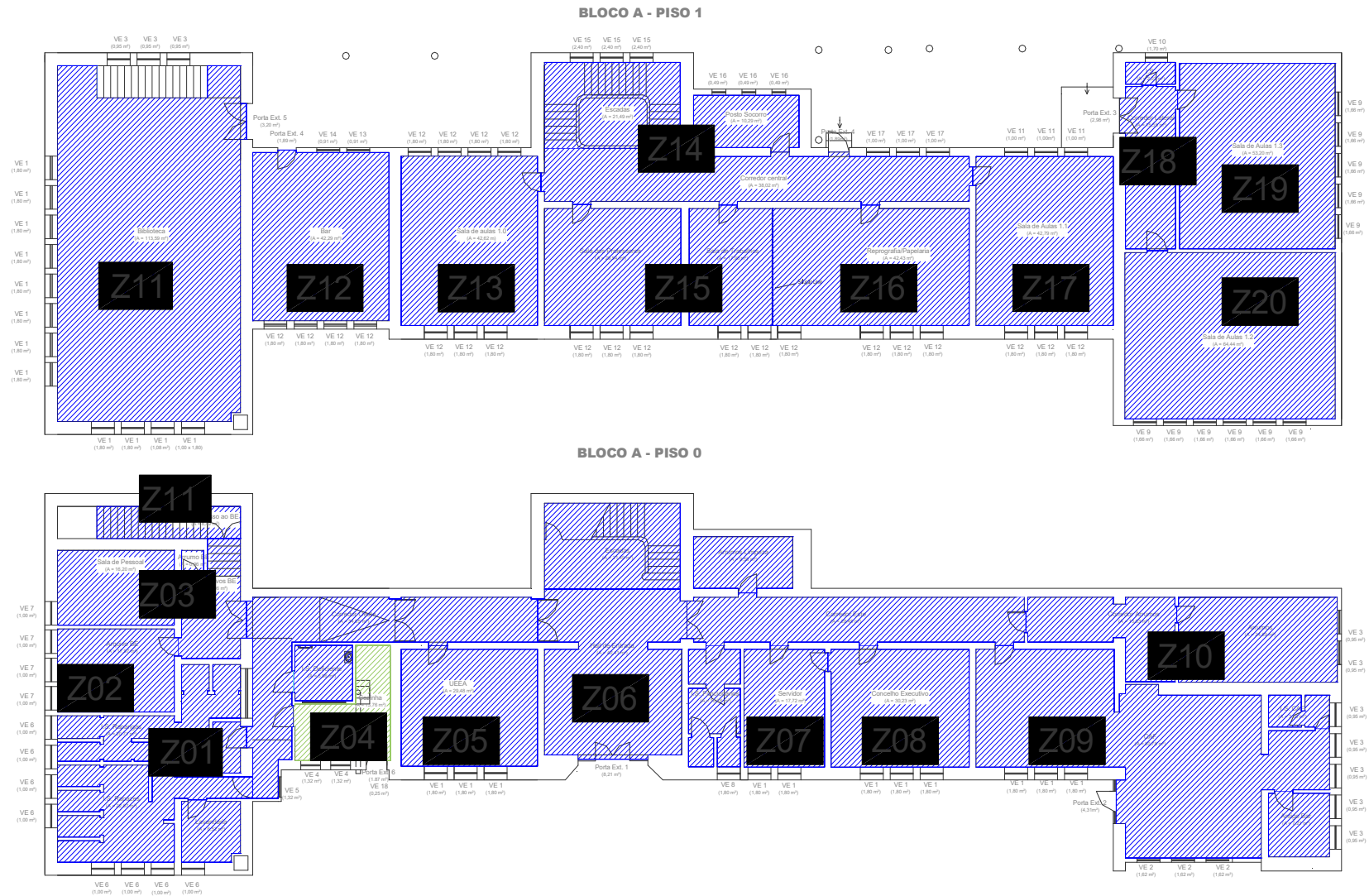


Figura 53 – Desenho 2D do zonamento térmico do Bloco A.

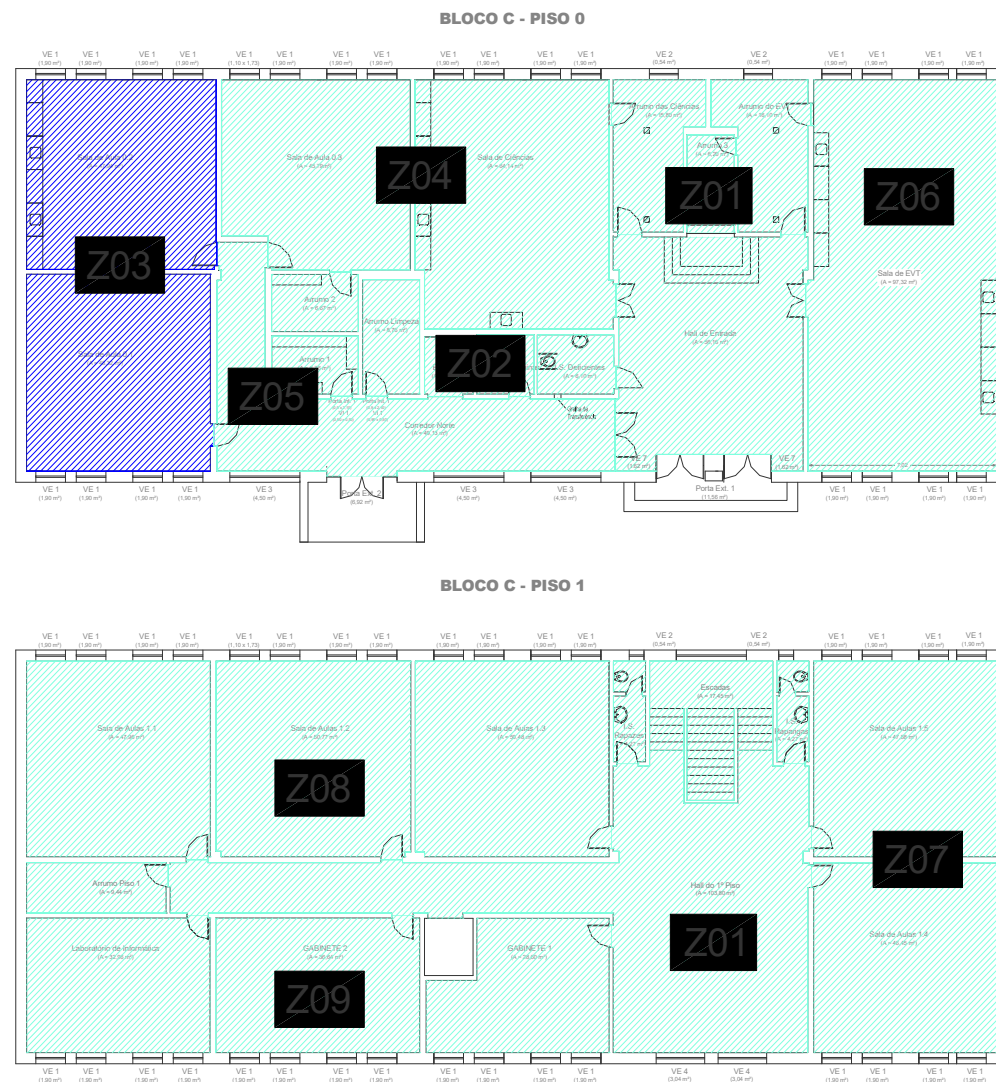


Figura 54 – Desenho 2D do zonamento térmico do Bloco C.

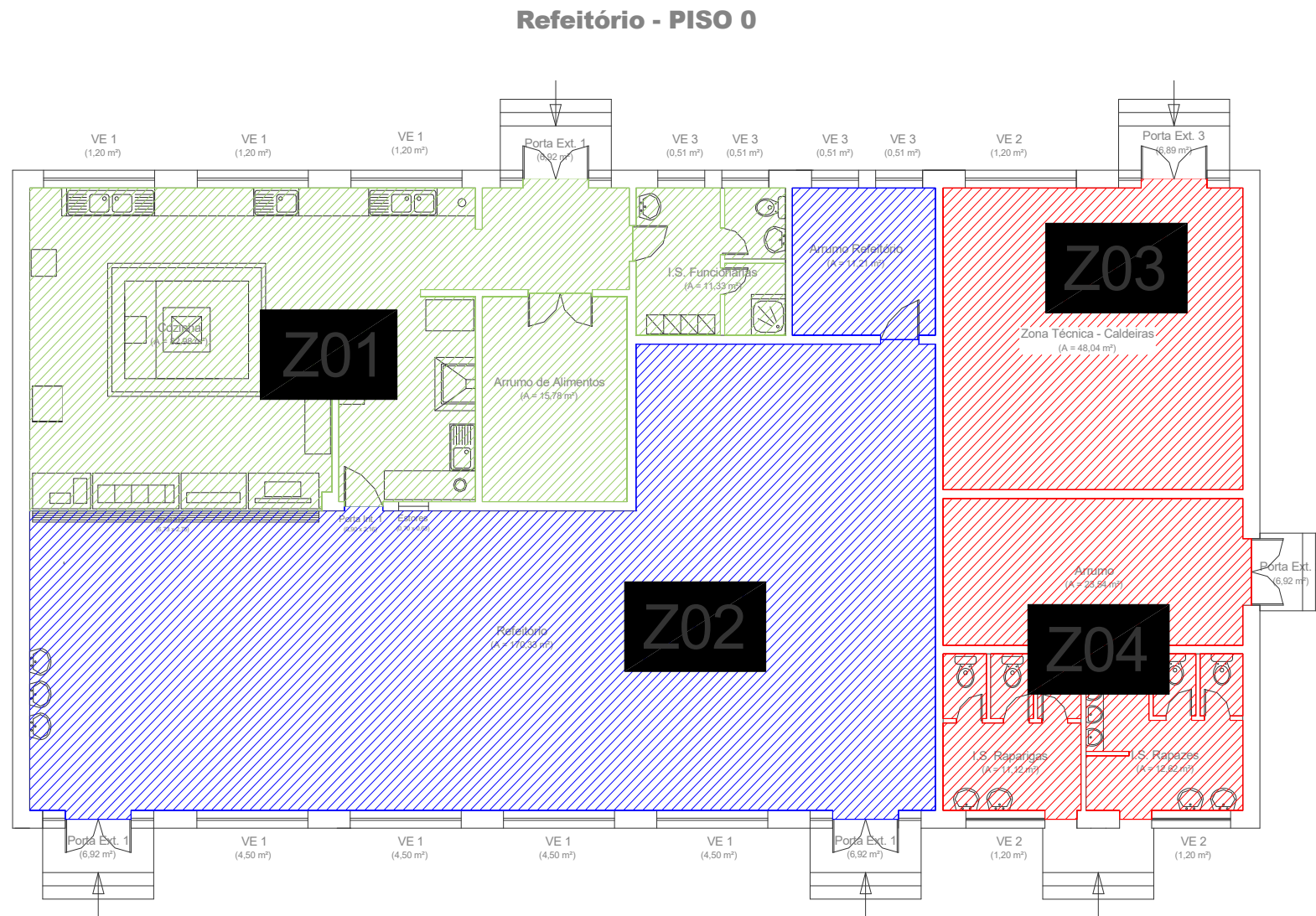


Figura 55 – Desenho 2D do zonamento térmico do Bloco D (refeitório).

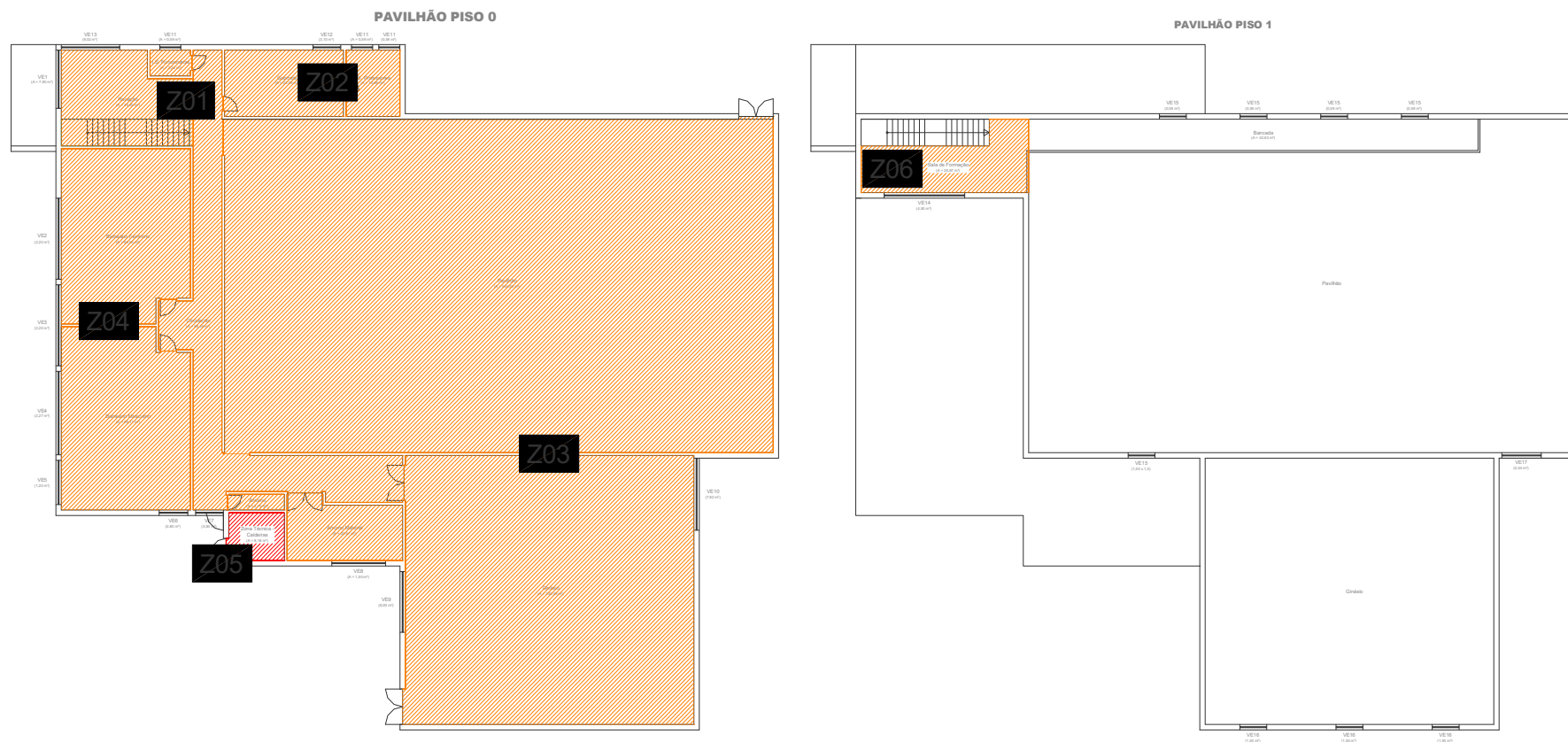


Figura 56 – Desenho 2D do zonamento térmico do Pavilhão.

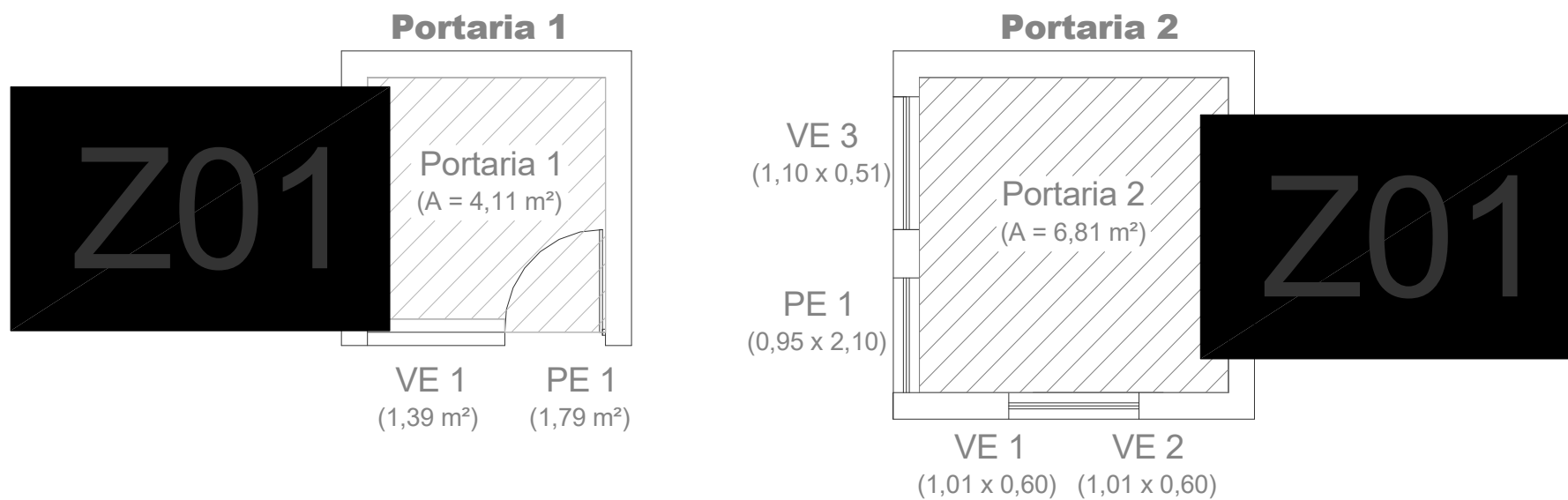


Figura 57 – Desenho 2D do zonamento térmico das Portarias 1 e 2.

APÊNDICE IX – DADOS DA AUDITORIA ENERGÉTICA

Os consumos energéticos faturados e apresentados na Figura 25 e na Figura 26 foram obtidos mediante os valores presentes na Tabela 82, para a energia elétrica, e na Tabela 83, para o gás propano.

Tabela 82 – Consumos faturados de energia elétrica ativa do Complexo Escolar.

CONSUMOS FATURADOS DE ENERGIA ELÉTRICA ATIVA				
Mês	Energia Elétrica Ativa [kWh]			
	2013	2014	2015	Média
Janeiro	9 080	8 859	9 903	9 281
Fevereiro	8 682	8 632	8 454	8 589
Março	7 595	7 361	7 010	7 322
Abril	6 713	5 663	6 602	6 326
Maio	6 745	6 137	6 452	6 445
Junho	5 278	5 477	5 034	5 263
Julho	4 046	4 643	4 272	4 320
Agosto	3 469	3 709	3 267	3 482
Setembro	5 155	5 428	4 920	5 168
Outubro	6 841	7 095	7 280	7 072
Novembro	7 549	7 786	5 662	6 999
Dezembro	7 677	7 360	7 000	7 346
Total	78 831	78 150	75 857	77 612,55

Tabela 83 – Consumos faturados de gás propano do Complexo Escolar.

CONSUMOS FATURADOS DE GÁS PROPANO			
Mês	Consumo Energético de Gás Propano [kWh]		
	2013	2014	2015
Janeiro	31 175	18 944	-
Fevereiro	-	21 684	29 310
Março	19 317	-	-
Abril	-	25 465	-
Maio	30 185	-	22 546
Junho	-	-	-
Julho	-	-	-
Agosto	-	-	-
Setembro	-	-	-
Outubro	-	-	18 803
Novembro	-	29 413	-
Dezembro	27 330	14 700	30 802
Total	108 007,61	110 206,86	101 461,31

Depois das várias monitorizações efetuadas na auditoria energética foi possível obter os diagramas dos consumos elétricos, representados desde a Figura 58 até à Figura 63. O primeiro diagrama representa todas as medições efetuadas e, os diagramas seguintes, o diagrama individual de cada monitorização desenvolvida. Os aparelhos de medição efetuaram medições com um intervalo temporal de 5 minutos.

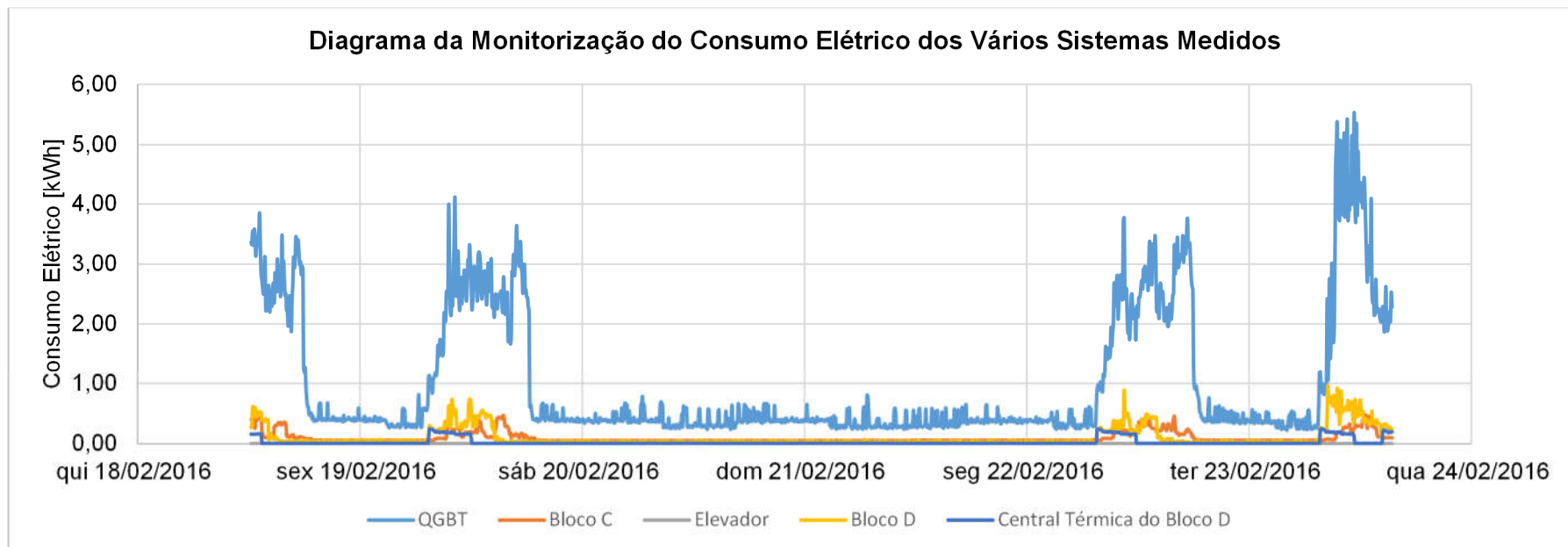


Figura 58 – Diagrama dos consumos elétricos monitorizados na auditoria energética.

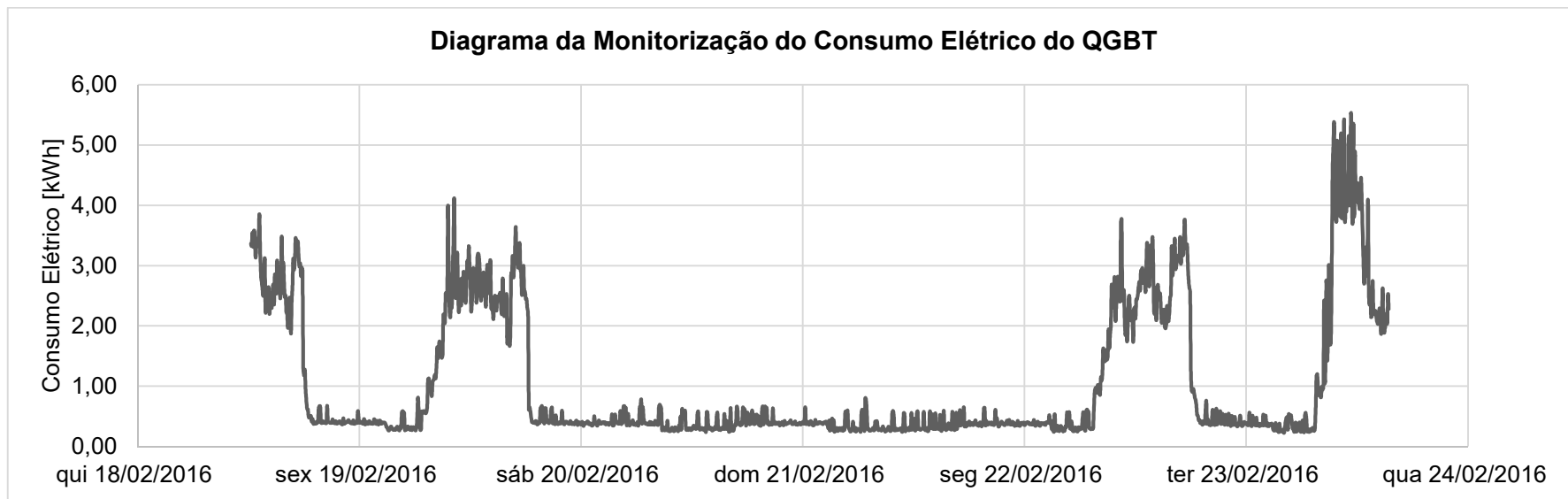


Figura 59 – Diagrama do consumo elétrico monitorizado do QGBT, aquando da auditoria energética.

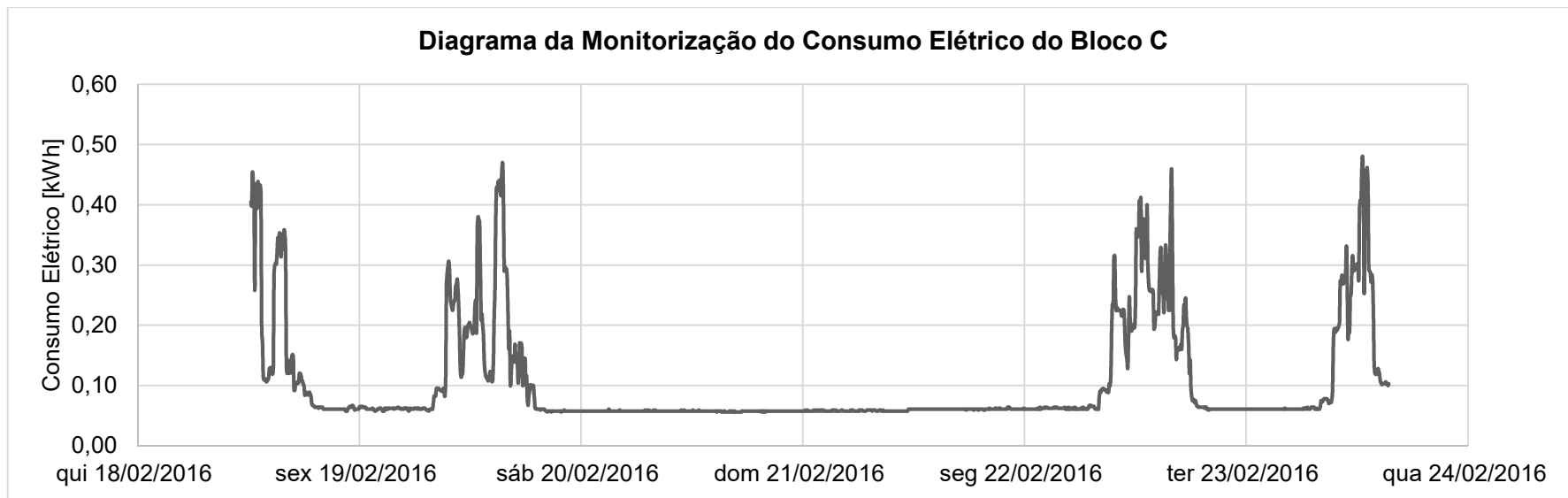


Figura 60 – Diagrama do consumo elétrico monitorizado do Bloco C, aquando da auditoria energética.

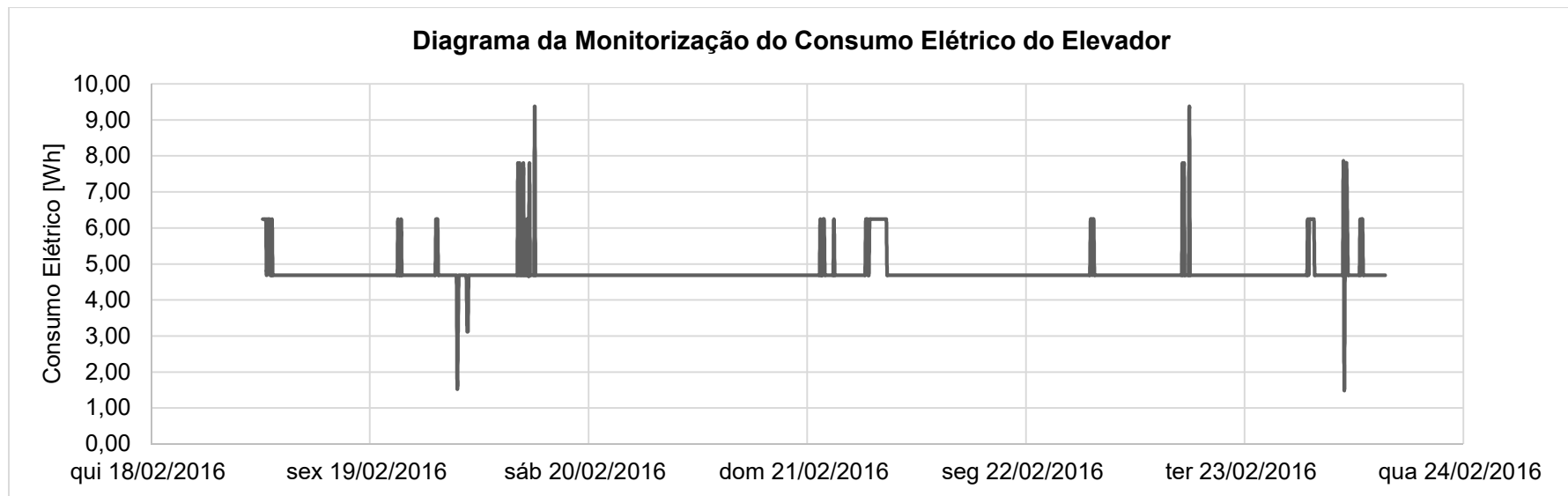


Figura 61 – Diagrama do consumo elétrico monitorizado do elevador do Bloco C, aquando da auditoria energética.

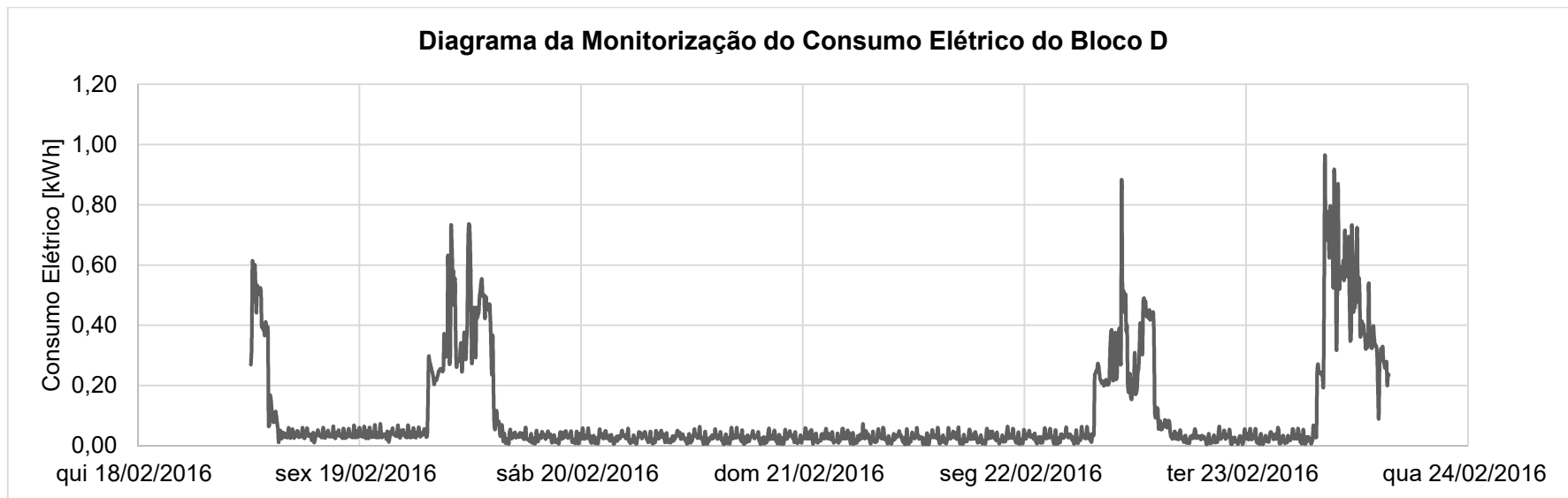


Figura 62 – Diagrama do consumo elétrico monitorizado do Bloco D, aquando da auditoria energética.

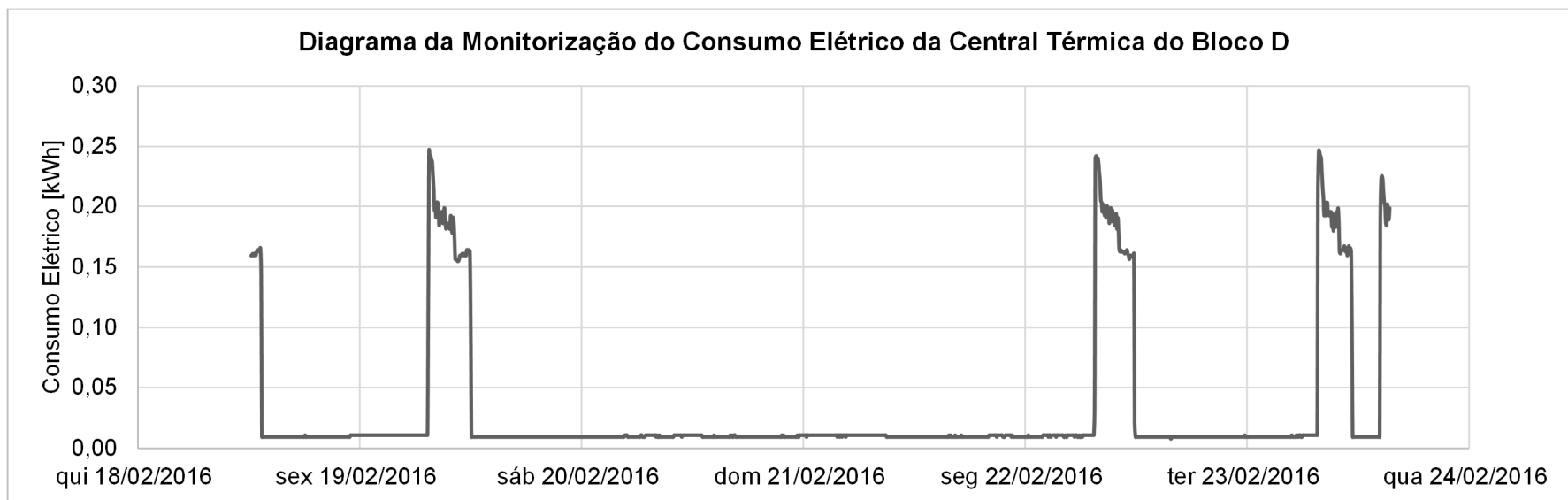


Figura 63 – Diagrama do consumo elétrico monitorizado da central térmica do Bloco D, aquando da auditoria energética.

Com os diagramas obtidos foi possível a apresentação da repartição dos consumos elétricos, representados na Figura 28. De maneira a apresentar os dados necessários à obtenção da figura supracitada, é apresentada a Tabela 84.

Tabela 84 – Repartição dos consumos elétricos monitorizados no período da auditoria.

REPARTIÇÃO DOS CONSUMOS ELÉTRICOS DA AUDITORIA ENERGÉTICA		
Sistemas Consumidores	Consumo Elétrico no Período da Auditoria	
	[kWh]	[%]
QGBT	1 526,27	100
Bloco C	151,57	9,9
Elevador	7,07	0,4
Equipamentos e Iluminação	149,98	9,5
Bloco D	149,98	9,8
Central Térmica	46,00	3,0
Equipamentos e Iluminação	103,98	6,8
Bloco A	-	-
Servidor	92,59	6,1
Outros	1 132,13	74,2

Uma vez que não foi possível a monitorização dos consumos de gás propano do Complexo escolar, foi necessário estimar os consumos de gás propano. Para se estimar o consumo de gás propano inerente à confeção das refeições na cozinha do Bloco D, recorreu-se às faturas energéticas, nomeadamente às correspondentes aos abastecimentos efetuados em maio (2013 e 2015) e abril (2014). Assumiu-se que estes abastecimentos serviram apenas meses em que não existiam necessidades de climatização com recurso à caldeira. Para determinar o número de dias de consumo de gás propano, descontaram-se os dias de fim de semana, de feriados e do mês de agosto ao número de dias entre abastecimentos.

No ano de 2013 existiu um abastecimento em maio seguido de um em dezembro, onde entre abastecimentos decorreram 113 dias de consumo. Uma vez que se abasteceram 30 185 kWh, obteve-se um consumo diário de 267,1 kWh/dia.

No ano de 2014 existiu um abastecimento em abril seguido de um em novembro, onde entre abastecimentos decorreram 136 dias de consumo. Uma vez que se abasteceram 25 465 kWh, obteve-se um consumo diário de 187,2 kWh/dia.

No ano de 2015 existiu um abastecimento em maio seguido de um em outubro, onde entre abastecimentos decorreram 96 dias de consumo. Uma vez que se abasteceram 22 546 kWh, obteve-se um consumo diário de 234,9 kWh/dia.

Assim sendo, obteve-se um consumo médio diário (nos dias úteis) de gás propano, utilizado para a confeção de refeições e para a produção de AQS, de 229,7 kWh/dia. Uma vez que o ano letivo tem aproximadamente 200 dias de aulas, obteve-se um consumo estimado de gás propano de 45 940,00 kWh/ano, excluindo a parcela inerente ao aquecimento ambiente. Para a preparação das AQS recorreu-se à metodologia do Apêndice X, a qual perfaz um consumo anual estimado de 31 327,38 kWh/ano. Com estes resultados, obteve-se por diferença o consumo anual estimado referente à confeção das refeições na cozinha do Bloco D, de 14 612,62 kWh/ano. Com o recurso à média anual faturada do consumo de gás propano obteve-se, também por diferença, o consumo inerente ao aquecimento central, de 60 618,59 kWh/ano.

APÊNDICE X – RESULTADOS DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS

Para a determinação da estimativa anual da energia global necessária para a preparação de AQS, recorreu-se à Equação 10 [13]. Na Tabela 85 enunciam-se os parâmetros utilizados para o cálculo do consumo real da preparação de AQS, que representam o consumo anual do modelo real e previsto. Na Tabela 86 são apresentados os resultados do consumo da preparação de AQS do edifício de referência. Os valores apresentados representam a energia necessária para elevar a temperatura da água em 45°C, tendo em consideração a eficiência dos sistemas.

$$Q_a = \frac{C_{AQS} \cdot 4,187 \cdot \Delta T}{3600 \cdot \eta} \text{ [kWh/ano]} \quad \text{Equação 10}$$

Tabela 85 – Parâmetros para a determinação da energia necessária para a produção de AQS.

ENERGIA NECESSÁRIA PARA A PRODUÇÃO DE AQS					
Bloco	Sistema	Refeições	Consumo [L/refeição]	[L/dia]	Nº dias Q _a [kWh/ano]
Bloco A	Cilindro elétrico	-	-	50	200 612,13
Bloco D	Esquentador	200	9	1 800	200 21 410,80
Pavilhão	Caldeira	-	-	675	200 9 916,58

Tabela 86 – Parâmetros para a determinação da energia necessária para a produção de AQS do modelo de referência.

ENERGIA NECESSÁRIA PARA A PRODUÇÃO DE AQS DO MODELO DE REFERÊNCIA					
Bloco	Sistema	Refeições	Consumo [L/refeição]	[L/dia]	Nº dias Q _a [kWh/ano]
Bloco A	Cilindro elétrico	-	-	50	200 550,92
Bloco D	Esquentador	200	9	1 800	200 22 430,36
Pavilhão	Caldeira	-	-	675	200 7 938,83

Para a determinação da estimativa anual do consumo inerente às bombas de circulação, recorreu-se à Equação 11 obtendo-se os resultados da Tabela 87, Tabela 88 e Tabela 89 para o modelo real, previsto e de referência, respetivamente. O número de horas de funcionamento (Δt) de climatização foi obtido mediante os resultados da simulação. Para a bomba circuladora da produção de AQS, o número de horas de funcionamento foi obtido mediante as necessidades de água quente diárias e a potência do sistema (P) de produção de energia térmica.

$$E_T = \frac{P \cdot \Delta t}{1000} \text{ [kWh/ano]} \quad \text{Equação 11}$$

Tabela 87 – Parâmetros para o cálculo da estimativa do consumo anual das bombas circuladoras do modelo real.

CONSUMO ELÉTRICO DAS BOMBAS CIRCULADORAS DO MODELO REAL				
Bloco	Bombas	Potência [W]	Funcionamento [h/ano]	E_T [kWh/ano]
Bloco D	Climatização	2 940	312	917,28
Pavilhão	AQS	88	334	29,38

Tabela 88 – Parâmetros para o cálculo da estimativa do consumo anual das bombas circuladoras do modelo previsto.

CONSUMO ELÉTRICO DAS BOMBAS CIRCULADORAS DO MODELO PREVISTO				
Bloco	Bombas	Potência [W]	Funcionamento [h/ano]	E_T [kWh/ano]
Bloco D	Climatização	2 940	2 483	7 300,02
Pavilhão	AQS	88	334	29,38

Tabela 89 – Parâmetros para o cálculo da estimativa do consumo anual das bombas circuladoras do modelo de referência.

CONSUMO ELÉTRICO DAS BOMBAS CIRCULADORAS DO MODELO DE REFERÊNCIA				
Bloco	Bombas	Potência [W]	Funcionamento [h/ano]	E_T [kWh/ano]
Bloco D	Climatização	2 940	2 243	6 594,42
Pavilhão	AQS	88	267	23,52

Depois de desenvolvidos os modelos de simulação, são apresentados na Tabela 90, Tabela 91 e Tabela 92 os resultados obtidos para cada um desses modelos, onde estão discriminadas as necessidades de aquecimento e de arrefecimento de cada zona térmica e os consumos inerentes ao sistema de iluminação e os equipamentos que representam consumos do Tipo T. Os valores apresentados têm todos a mesma unidade kWh/ano. Para além disso, existe a necessidade de majorar as necessidades de aquecimento globais em 5 %, de modo a serem consideradas as PTL.

Tabela 90 – Resultados dos consumos energéticos simulados do modelo real [kWh/ano].

CONSUMOS ENERGÉTICOS SIMULADOS DO MODELO REAL									
Bloco	Zona	Designação do espaço	Iluminação	Equipamentos	Aquecimento			Arrefecimento	
					Necessidade	Energia Final	Majoração PTL 5%	Necessidade	Energia Final
Bloco A	Z01	Instalações Sanitárias	152	81	789	1 577	1 656	0	0
	Z02	Arquivo BE	3	0	0	0	0	0	0
	Z03	Sala de Pessoal	218	752	398	795	835	0	0
	Z04	Cozinha	35	3	0	0	0	0	0
	Z05	UEEA	648	347	312	624	655	0	0
	Z06	Corredor	1 619	179	1 777	3 554	3 732	0	0
	Z07	Servidor	3	4 727	0	0	0	3 871	596
	Z08	Concelho Executivo	413	735	253	505	530	0	0
	Z09	CAF	1 832	1 343	780	1 560	1 638	0	0
	Z10	Arrumo	5	0	0	0	0	0	0
	Z11	Biblioteca	1 722	2 786	2 371	4 742	4 979	0	0
	Z12	Bar	353	8 453	299	599	629	0	0
	Z13	Sala de aulas 1.0	755	313	554	1 109	1 164	0	0
	Z14	Corredor Central	193	0	1 535	3069	3223	0	0
	Z15	Sala Professores	981	1 197	633	1 267	1 330	0	0
	Z16	Reprografia/Papelaria	769	443	414	829	870	0	0
	Z17	Salas de Aulas 1.1	553	462	587	1 173	1 232	0	0
	Z18	Corredor Lateral	202	0	389	778	817	0	0
	Z19	Sala de Aulas1.3	648	662	635	1 270	1 334	0	0
	Z20	Sala de Aulas 1.2	648	728	805	1 610	1 691	0	0
Bloco C	Z01	Hall	2 560	2 896	3 014	6 028	6 329	0	0

CONSUMOS ENERGÉTICOS SIMULADOS DO MODELO REAL

Bloco	Zona	Designação do espaço	Iluminação	Equipamentos	Aquecimento			Arrefecimento	
					Necessidade	Energia Final	Majoração PTL 5%	Necessidade	Energia Final
Bloco C	Z02	Elevador	2	329	0	0	0	0	0
	Z03	Salas EB1	1 605	1 326	979	1 959	2 057	0	0
	Z04	Salas de Ciências	661	153	1 288	2 576	2 705	0	0
	Z05	Corredor	784	0	1 154	2 307	2 423	0	0
	Z06	Sala EVT	324	85	1 297	2 595	2 725	0	0
	Z07	Salas 1Piso	540	112	1 509	3 017	3 168	0	0
	Z08	Sala música	741	109	2 102	4 203	4 413	0	0
	Z09	Gabinete	347	231	1 786	3 572	3 750	0	0
Bloco D	Z01	Cozinha	1 910	2 853	0	0	0	0	0
	Z02	Refeitório	636	0	2 561	5 122	5 378	0	0
	Z03	Caldeira	12	0	0	0	0	0	0
	Z04	I.S. refeitório	8	0	0	0	0	0	0
Pavilhão	Z01	Corredor	1 535	235	0	0	0	0	0
	Z02	Sala de professores	19	661	0	0	0	0	0
	Z03	Pavilhão	6 192	305	0	0	0	0	0
	Z04	Balneários	2 886	0	0	0	0	0	0
	Z05	Zonas Técnicas	1	0	0	0	0	0	0
	Z06	Sala de Formação	7	0	0	0	0	0	0
Portaria 1	Z01	Portaria 1	23	308	0	0	0	0	0
Portaria 2	Z01	Portaria 2	1	0	0	0	0	0	0
TOTAL (ENERGIA ELÉTRICA)			32 550	32 813	0	0	0	3 871	596
TOTAL (GÁS PROPANO)			0	0	28 220	56 439	59 261	0	0

Tabela 91 – Resultados dos consumos energéticos simulados do modelo previsto [kWh/ano].

CONSUMOS ENERGÉTICOS SIMULADOS DO MODELO PREVISTO									
Bloco	Zona	Designação do espaço	Iluminação	Equipamentos	Aquecimento			Arrefecimento	
					Necessidade	Energia Final	Majoração PTL 5%	Necessidade	Energia Final
Bloco A	Z01	Instalações Sanitárias	152	81	1 349	2 698	2 833	42	14
	Z02	Arquivo BE	3	0	584	657	690	13	4
	Z03	Sala de Pessoal	218	752	396	792	831	2	1
	Z04	Cozinha	35	3	0	0	0	0	0
	Z05	UEEA	648	347	195	390	410	50	17
	Z06	Corredor	1 619	179	2 749	5 498	5 773	0	0
	Z07	Servidor	3	4 727	11	3	3	1 668	257
	Z08	Concelho Executivo	413	735	292	584	613	62	21
	Z09	CAF	1 832	1 343	1 457	2 914	3 059	87	30
	Z10	Arrumo	5	0	1 112	2 225	2 336	0	0
	Z11	Biblioteca	1 722	2 786	3 132	6 263	6 576	289	100
	Z12	Bar	353	8 453	521	1 041	1 093	1 696	585
	Z13	Sala de aulas 1.0	755	313	1 051	2 103	2 208	179	62
	Z14	Corredor Central	193	0	2 817	5 633	5 915	26	9
	Z15	Sala Professores	981	1 197	909	1 817	1 908	381	131
	Z16	Reprografia/Papelaria	769	443	787	1 574	1 653	417	144
	Z17	Salas de Aulas 1.1	553	462	596	1 191	1 251	167	58
	Z18	Corredor Lateral	202	0	974	1 948	2 045	10	3
	Z19	Sala de Aulas1.3	648	662	1 104	2 207	2 317	127	44
	Z20	Sala de Aulas 1.2	648	728	1 135	2 270	2 383	173	60
Bloco C	Z01	Hall	2 560	2 896	4 035	8 070	8 474	55	19

CONSUMOS ENERGÉTICOS SIMULADOS DO MODELO PREVISTO

Bloco	Zona Designação do espaço	Iluminação	Equipamentos	Aquecimento			Arrefecimento	
				Necessidade	Energia Final	Majoração PTL 5%	Necessidade	Energia Final
Bloco C	Z02 Elevador	2	329	0	0	0	0	0
	Z03 Salas EB1	1 605	1 326	1 342	2 684	2 818	206	71
	Z04 Salas de Ciências	661	153	3 650	7 300	7 665	50	17
	Z05 Corredor	784	0	2 015	4 030	4 232	99	34
	Z06 Sala EVT	324	85	2 750	5 501	5 776	36	12
	Z07 Salas 1Piso	540	112	3 713	7 426	7 797	106	37
	Z08 Sala música	741	109	5 695	11 390	11 960	141	49
	Z09 Gabinete	347	231	4 315	8 631	9 062	123	42
Bloco D	Z01 Cozinha	1 910	2 853	1 861	3 722	3 908	36	12
	Z02 Refeitório	636	0	3 553	7 107	7 462	181	63
	Z03 Caldeira	12	0	0	0	0	0	0
	Z04 I.S. refeitório	8	0	0	0	0	0	0
Pavilhão	Z01 Corredor	1 535	235	3 663	4 115	4 321	287	99
	Z02 Sala de professores	19	661	718	807	847	71	25
	Z03 Pavilhão	6 192	305	22 775	25 589	26 869	2 163	746
	Z04 Balneários	2 886	0	936	1 051	1 104	552	190
	Z05 Zonas Técnicas	1	0	0	0	0	0	0
	Z06 Sala de Formação	7	0	776	872	916	271	94
Portaria 1	Z01 Portaria 1	23	308	157	176	185	207	72
Portaria 2	Z01 Portaria 2	1	0	0	0	0	0	0
TOTAL (ENERGIA ELÉTRICA)		32 550	32 813	11	3	3	9 973	3 120
TOTAL (GÁS PROPANO)		0	0	83 113	140 277	147 291	0	0

Tabela 92 – Resultados dos consumos energéticos simulados do modelo de referência [kWh/ano].

CONSUMOS ENERGÉTICOS SIMULADOS DO MODELO DE REFERÊNCIA									
Bloco	Zona	Designação do espaço	Iluminação	Equipamentos	Aquecimento			Arrefecimento	
					Necessidade	Energia Final	Majoração PTL 5%	Necessidade	Energia Final
Bloco A	Z01	Instalações Sanitárias	191	81	1 200	1 348	1 416	20	7
	Z02	Arquivo BE	1	0	493	554	582	15	5
	Z03	Sala de Pessoal	107	752	351	395	414	14	5
	Z04	Cozinha	108	3	0	0	0	0	0
	Z05	UEEA	152	347	371	417	438	32	11
	Z06	Corredor	1 386	179	2 525	2 837	2 979	0	0
	Z07	Servidor	2	4 727	0	0	0	2 022	697
	Z08	Concelho Executivo	435	735	270	304	319	117	40
	Z09	CAF	1 363	1 343	1 684	1 892	1 986	85	29
	Z10	Arrumo	3	0	938	1 054	1 106	0	0
	Z11	Biblioteca	2 044	2 786	2 625	2 950	3 097	198	68
	Z12	Bar	453	8 453	233	261	274	2 119	731
	Z13	Sala de aulas 1.0	332	313	1 194	1 341	1 408	122	42
	Z14	Corredor Central	205	0	1 730	1 943	2 041	0	0
	Z15	Sala Professores	479	1 197	847	951	999	218	75
	Z16	Reprografia/Papelaria	695	443	697	783	822	299	103
	Z17	Salas de Aulas 1.1	333	462	509	572	600	135	46
	Z18	Corredor Lateral	38	0	675	759	797	1	0
	Z19	Sala de Aulas1.3	410	662	1 129	1 268	1 332	115	40
	Z20	Sala de Aulas 1.2	506	728	1 100	1 236	1 298	123	42
Bloco C	Z01	Hall	1 277	2 896	3 420	3 843	4 035	32	11

CONSUMOS ENERGÉTICOS SIMULADOS DO MODELO DE REFERÊNCIA

Bloco	Zona	Designação do espaço	Iluminação	Equipamentos	Aquecimento			Arrefecimento	
					Necessidade	Energia Final	Majoração PTL 5%	Necessidade	Energia Final
Bloco C	Z02	Elevador	1	329	0	0	0	0	0
	Z03	Salas EB1	746	1 326	1 981	2 226	2 337	239	82
	Z04	Salas de Ciências	201	153	4 709	5 291	5 556	78	27
	Z05	Corredor	378	0	2 304	2 589	2 719	78	27
	Z06	Sala EVT	172	85	3 539	3 977	4 175	49	17
	Z07	Salas 1Piso	170	112	4 284	4 814	5 054	80	28
	Z08	Sala música	265	109	6 464	7 263	7 627	110	38
	Z09	Gabinete	229	231	4 887	5 491	5 766	97	33
Bloco D	Z01	Cozinha	1 870	2 853	1 584	1 780	1 869	92	32
	Z02	Refeitório	611	0	4 553	5 115	5 371	243	84
	Z03	Caldeira	6	0	0	0	0	0	0
	Z04	I.S. refeitório	5	0	0	0	0	0	0
Pavilhão	Z01	Corredor	872	235	3 791	4 260	4 473	21	7
	Z02	Sala de professores	13	661	955	1 073	1 126	11	4
	Z03	Pavilhão	3 879	305	27 645	31 062	32 615	161	56
	Z04	Balneários	1 466	0	1 275	1 432	1 504	64	22
	Z05	Zonas Técnicas	1	0	0	0	0	0	0
	Z06	Sala de Formação	4	0	961	1 080	1 134	34	12
Portaria 1	Z01	Portaria 1	43	308	102	115	121	37	13
Portaria 2	Z01	Portaria 2	1	0	0	0	0	0	0
TOTAL (ENERGIA ELÉTRICA)			21 452	32 813	0	0	0	7 059	2 434
TOTAL (GÁS PROPANO)			0	0	91 026	102 276	107 390	0	0

APÊNDICE XI – ESPECIFICAÇÕES DE APOIO

Na Tabela 93 são apresentadas as diferenças entre o módulo fotovoltaico implementado na ferramenta do SCE.ER e o módulo fotovoltaico preconizado na quarta medida de melhoria.

Tabela 93 – Apresentação das diferenças entre o módulo fotovoltaico utilizado no estudo técnico e o utilizado na análise económica.

DIFERENÇAS ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS		
Propriedades	Módulo Fotovoltaico	
	OpenRenewables 255-PQ60	Small Power 260 PE
Potência Nominal [P_n]	257 Wp	260 Wp
Tensão à potência nominal [V_{MPP}]	30,00 V	30,70 V
Corrente à potência nominal [I_{MPP}]	8,55 A	8,50 A
Tensão em circuito aberto [V_{OC}]	38,00 V	37,80 V
Corrente em Curto Circuito [I_{SC}]	9,00 A	9,01 A
Eficiência do Pannel [η]	15,50 %	15,80 %

De modo a se apresentarem os parâmetros inerentes ao cálculo do consumo das bombas circuladoras da implementação das medidas de melhoria, é apresentada a Tabela 94. Para os cenários de reabilitação energética, também são apresentados os mesmos parâmetros na Tabela 95.

Tabela 94 – Parâmetros para o cálculo da estimativa do consumo anual das bombas circuladoras das medidas de melhoria.

CONSUMO DAS BOMBAS CIRCULADORAS DAS MEDIDAS DE MELHORIA				
Bloco	Bombas	Potência [W]	Funcionamento [h/ano]	E_T [kWh/ano]
Primeira Medida de Melhoria				
Bloco D	Climatização	2 940	2 374	6 979,56
Segunda Medida de Melhoria				
Bloco D	Climatização	2 940	2 516	7 397,04
Terceira Medida de Melhoria				
Pavilhão	SST	88	2 023	178,00

CONSUMO DAS BOMBAS CIRCULADORAS DAS MEDIDAS DE MELHORIA				
Bloco	Bombas	Potência [W]	Funcionamento [h/ano]	E _r [kWh/ano]
Bloco D	SST	88	2 080	183,00
Quinta Medida de Melhoria				
Bloco D	Climatização	2 940	2 482	7 297,08

Tabela 95 – Parâmetros para o cálculo da estimativa do consumo anual das bombas circuladoras dos cenários de reabilitação energética.

CONSUMO DAS BOMBAS CIRCULADORAS DOS CENÁRIOS DE REABILITAÇÃO				
Bloco	Bombas	Potência [W]	Funcionamento [h/ano]	E _r [kWh/ano]
Primeiro Cenário de Reabilitação Energética				
Bloco D	Climatização	2 940	2 374	6 979,56
Pavilhão	SST	88	2 023	178,00
Bloco D	SST	88	2 080	183,00
Segundo Cenário de Reabilitação Energética				
Bloco D	Climatização	2 940	2 442	7 179,48
Pavilhão	SST	88	2 023	178,00
Bloco D	SST	88	2 080	183,00
Terceiro Cenário de Reabilitação Energética				
Bloco D	Climatização	2 940	2 482	7 297,08
Pavilhão	SST	88	2 023	178,00
Bloco D	SST	88	2 080	183,00
Quarto Cenário de Reabilitação Energética				
Bloco D	Climatização	2 940	2 402	7 061,88
Pavilhão	SST	88	2 023	178,00
Bloco D	SST	88	2 080	183,00
Quinto Cenário de Reabilitação Energética				
Bloco D	Climatização	2 940	2 439	7 170,66
Pavilhão	SST	88	2 023	178,00
Bloco D	SST	88	2 080	183,00
Sexto Cenário de Reabilitação Energética				
Bloco D	Climatização	2 940	2 439	7 170,66
Pavilhão	SST	88	2 023	178,00
Bloco D	SST	88	2 080	183,00

APÊNDICE XII – ESTIMATIVA ORÇAMENTAL

Para o desenvolvimento de uma análise económica foi necessário estimar os custos da implementação das medidas de melhoria apresentando-se toda a orçamentação desenvolvida desde a Tabela 96 até à Tabela 99. As soluções preconizadas poderão ser efetuadas com equipamentos equivalentes aos apresentados.

Tabela 96 – Estimativa orçamental do reforço térmico da envolvente opaca.

ESTIMATIVA ORÇAMENTAL					
Cód.	Designação	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total (s/iva)
1. Reforço Térmico da Envolvente Opaca					
1.1	Fornecimento e aplicação de manta de isolamento em lã de rocha com 100 mm de espessura e massa volúmica de 30 kg/m ³ , incluindo todos os trabalhos e acessórios necessários, sobre a laje de esteira de coberturas com desvão:				
1.1.1	Bloco A - 1.º Ciclo	m ²	555,86	10,00 €	5 558,60 €
1.1.2	Bloco C - 2.º e 3.º Ciclos	m ²	506,10	10,00 €	5 061,00 €
1.1.3	Bloco D - Refeitório	m ²	398,60	10,00 €	3 986,00 €
1.2	Fornecimento e montagem de teto falso em placas compostas de gesso laminado e poliestireno expandido (EPS), do tipo EPS 13A-80, da Gyptec ou equivalente, fixadas ao suporte através de estrutura composta por perfis metálicos OMEGA, afastados a cada 500 mm, incluindo massas, bandas e acessórios de fixação, remates, acabamento e pintura.				
1.2.1	Sob a cobertura do posto de socorro.	m ²	10,15	48,50 €	492,28 €
TOTAL – Reforço Térmico da Envolvente Opaca					15 097,88 €

Tabela 97 – Estimativa orçamental para o sistema de iluminação.

ESTIMATIVA ORÇAMENTAL				
Cód.	Designação	Quant.	Valor Unitário	Valor Total (s/iva)
1. Sistema de Iluminação Interior				
1.1	Desmontagem das luminárias existentes	93	10,00 €	930,00 €
1.2	Desmontagem, limpeza, manutenção e recolocação das luminárias existentes	266	30,00 €	7 980,00 €
1.3	Outros trabalhos elétricos, e acabamentos necessários	1	685,00 €	685,00 €
1.4	Fornecimento de luminárias, lâmpadas, sistemas de controlo e instalação dos mesmos:			
1.4.1	Lâmpada Philips Master Ledtube 1200mm UO 20W 840 T8 Rot 4000K	205	20,00 €	4 100,00 €
1.4.2	Lâmpada Philips Master Ledtube 1500mm UO 25W 840 T8 Rot 4000K	322	30,00 €	9 660,00 €
1.4.3	Lâmpada Led E27 B5 T3 3U 220V 9W	16	5,00 €	80,00 €
1.4.4	Luminária TRLB 04 06064 - 05 DE 5040 lm	52	205,00 €	10 660,00 €
1.4.5	Luminária EEE CLU 09 136 BE LED	17	90,00 €	1 530,00 €
1.4.6	Luminária EEE CLU 09 258 BE LED	32	150,00 €	4 800,00 €
1.4.7	Detetor de movimento Evology ref. 3054801	16	15,00 €	240,00 €
1.4.8	Detetor de movimento Xindarde teto 360 PIR ref. 3401348	13	20,00 €	260,00 €
1.4.9	Detetor de sensor de movimento branco 220V 180° (IP65)	12	12,50 €	150,00 €
2. Sistema de Iluminação Exterior				
2.1	Desmontagem das luminárias existentes	10	10,00 €	100,00 €
2.2	Desmontagem, limpeza, manutenção e recolocação das luminárias existentes	1	30,00 €	30,00 €
2.3	Reparação da rede elétrica	10	55,00 €	550,00 €
2.4	Fornecimento de luminárias, lâmpadas, sistemas de controlo e instalação dos mesmos:			
2.4.1	Projetor de iluminação pública Corn E27 25W	25	40,00 €	1 000,00 €
2.4.2	Aplicadores exteriores de iluminação Cleveland 40 W	24	25,00 €	600,00 €
2.4.3	Armadura estanque p/lâmpada tubular LED T8 1200mm	10	50,00€	500,00€

ESTIMATIVA ORÇAMENTAL				
Cód.	Designação	Quant.	Valor Unitário	Valor Total (s/iva)
2.4.4	Lâmpada Philips Master Ledtube 1200mm UO 20W 840 T8 Rot 4000K	10	20,00 €	200,00 €
2.4.5	Lâmpada Philips Master Ledtube 1500mm UO 25W 840 T8 Rot 4000K	1	30,00 €	30,00 €
2.4.6	Lâmpada Led E27 B5 T3 3U 220V 9W	24	5,00 €	120,00 €
2.4.7	Detetor de movimento Thenben Theluxa S360 - preto	3	75,00 €	225,00 €
TOTAL – Sistema de Iluminação Interior e Exterior				44 430,00 €

Tabela 98 – Estimativa orçamental para a implementação do sistema solar térmico.

ESTIMATIVA ORÇAMENTAL				
Cód.	Designação	Quant.	Valor Unitário	Valor Total (s/iva)
1. Sistema Solar Térmico para o Bloco D				
1.1	Fornecimento e instalação de um sistema solar térmico, composto por quatro painéis solares, <i>ROTEX Solaris panels V 26 P</i> , ou equivalente, com uma área de absorção unitária de 2,36 m ² , de dimensões 2 000 x 1 300 x 85 mm, incluindo a estrutura de suporte e um depósito de acumulação de água quente, <i>ROTEX Sanicube Solaris</i> , ou equivalente, com uma capacidade de 500 L, tal como todos os meios auxiliares e componentes necessários para garantir o seu bom funcionamento na ligação à instalação existente.			
1.1.1	Componentes descritos	1	6 055,20 €	6 055,20 €
1.1.2	Trabalhos de construção civil complementares da instalação do sistema solar térmico	1	1 000,00 €	1 000,00 €
2. Sistema Solar Térmico para o Pavilhão				
2.1	Fornecimento e instalação de um sistema solar térmico, composto por quatro painéis solares, <i>ROTEX Solaris panels V 26 P</i> , ou equivalente, com uma área de absorção unitária de 2,36 m ² , de dimensões 2 000 x 1 300 x 85 mm, incluindo a estrutura de suporte e um depósito de acumulação de água quente, <i>ROTEX Sanicube Solaris</i> , ou equivalente, com uma capacidade de 500 L, tal como todos os meios auxiliares e componentes necessários para garantir o seu bom funcionamento na ligação à instalação existente.			
2.1.1	Componentes descritos	1	6 055,20 €	6 055,20 €
2.1.2	Trabalhos de construção civil complementares da instalação do sistema solar térmico	1	1 000,00 €	1 000,00 €
TOTAL – Sistemas Solares Térmicos				14 110,40 €

Tabela 99 – Estimativa orçamental para a implementação do sistema solar fotovoltaico.

ESTIMATIVA ORÇAMENTAL					
Cód.	Designação	Un.	Quant.	Valor Unitário	Valor Total (s/iva)
1. Sistema Solar Fotovoltaico para o Bloco A					
1.1	Modulo Fotovoltaicos de 260 W	Un.	30	202,50 €	6 075,00 €
1.2	Inversor de corrente e acessórios de ligação	Un.	1	3 600,00 €	3 600,00 €
1.3	Estrutura de fixação dos painéis	Vg.	1	5 040,00 €	5 040,00 €
1.4	Aplicação de quadros elétricos	Un.	1	730,00 €	730,00 €
1.5	Cabos elétricos, várias medidas, necessários a instalação e fichas terminais	m	189	-	438,80 €
1.6	Tubagens em tubo VD, várias medidas	m	194	-	317,40 €
1.7	Contadores elétricos	Un.	2	-	848,00 €
1.8	Ligação à terra	Vg.	1	150,00 €	150,00 €
TOTAL – Sistema Solar Fotovoltaico					17 199,20 €